



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGEMBANGAN BAHAN AKUSTIK DAN  
INSULASI TERMAL BERBASIS KOMPOSIT  
*SILICONE RUBBER* BERPENGUAT  
NANOSELULOSA DARI SERAT TANDAN  
KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK MUFFLER**

HENRY JULIANTO  
NRP. 2713 100 090

Dosen Pembimbing :  
Ir. Moh. Farid, DEA  
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017





**TUGAS AKHIR – TL 141584**

**PENGEMBANGAN BAHAN AKUSTIK DAN  
INSULASI TERMAL BERBASIS KOMPOSIT  
*SILICONE RUBBER* BERPENGUAT  
NANOSELULOSA DARI SERAT TANDAN KOSONG  
KELAPA SAWIT UNTUK MUFFLER**

**HENRY JULIANTO  
NRP 2713 100 090**

Dosen Pembimbing  
Ir. Moh. Farid, DEA  
Amaliya Rasyida, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**DEVELOPMENT OF ACOUSTICAL AND THERMAL  
INSULATION COMPOSITE BASED ON SILICONE  
RUBBER REINFORCED NANOCELLULOSE FROM  
OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH FOR MUFFLER**

**HENRY JULIANTO  
NRP. 2713 100 090**

Advisors  
Ir. Moh. Farid, DEA  
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF MATERIALS ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2017

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

**PENGEMBANGAN BAHAN AKUSTIK DAN INSULASI  
TERMAL BERBASIS KOMPOSIT *SILICONE RUBBER*  
BERPENGUAT NANOSELULOSA DARI SERAT  
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK  
MUFFLER**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**HENRY JULIANTO**  
Nrp. 2713 100 090

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Moh. Farid, DEA.....(Pembimbing I)
2. Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.....(Pembimbing II)



**PENGEMBANGAN BAHAN AKUSTIK DAN INSULASI  
TERMAL BERBASIS KOMPOSIT SILICONE RUBBER  
BERPENGUAT NANOSELULOSA DARI SERAT  
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK  
MUFFLER**

**Nama** : Henry Julianto  
**NRP** : 2713 100 090  
**Jurusan** : Teknik Material FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Moh Farid, DEA  
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

**Abstrak**

*Kebisingan merupakan polusi suara yang berdampak negatif terlebih disektor transportasi. Banyak kendaraan bermotor yang mana kendaraan jenis ini menimbulkan kebisingan yang cukup tinggi (>80db) dan dapat mengganggu aktivitas manusia. Terlebih banyak manusia yang kakinya terluka dikarenakan terkena panas dari knalpot bagian luar. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh fraksi berat terhadap morfologi, nilai koefisien absorpsi suara, densitas, stabilitas termal, dan konduktivitas termal. Bahan komposit berpenguat STKKS merupakan sebuah alternatif material peredam akustik dan insulasi panas yang ramah lingkungan. Pada penelitian ini dibuat komposit berpenguat serat tandan kosong kelapa sawit dengan matriks silicone rubber berpori. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah pengaruh fraksi berat nanoselulosa (0, 6 dan 8%). Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi koefisien absorpsi suara, SEM, TEM, TGA, FTIR, densitas, dan konduktivitas termal. Penambahan fraksi berat menyebabkan perubahan jumlah dan bentuk pori. Pori teratur dengan jumlah besar ada pada silicone rubber/nanoselulosa 6% dengan 27.366% area. Nilai  $\alpha$  tertinggi pada frekuensi 4000 Hz ada pada pada silicone rubber/nanoselulosa 6%, yaitu sebesar 0,4358. Penambahan*



*fraksi berat juga menyebabkan perubahan konduktivitas termal dengan tujuan sebagai material insulasi. Penambahan fraksi berat nanoselulosa dalam komposit membuat konduktivitas termal semakin kecil dimana material tersebut semakin baik sebagai penginsulasi panas tetapi memiliki stabilitas termal yang rendah seiring penambahan serat. Dalam hal insulasi, Silicone rubber berpori/nanoselulosa 8% merupakan yang paling baik dengan konduktivitas sebesar  $0.19891 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . Sedangkan dalam hal stabilitas termal, Silicone rubber berpori murni memiliki kestabilan termal yang paling baik karena penambahan nanoselulosa mengurangi stabilitas termal.*

*(kata kunci : Muffler, Thermal Stability, Thermal Conductivity, Silicone Rubber, Blending)*

# **DEVELOPMENT OF ACOUSTICAL AND THERMAL INSULATION COMPOSITE BASED ON SILICONE RUBBER REINFORCED NANOCELLULOSE FROM OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH FOR MUFFLER**

**Name** : Henry Julianto  
**NRP** : 2713 100 090  
**Department** : Material Engineering FTI-ITS  
**Advisors** : Ir. Moh Farid, DEA  
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

## **Abstract**

*Loudness or noise is a sound pollution that has a negative impact in the transportation sector. There is many motor vehicles generate a high noise ( about > 80 dB) and can interfere with human activity. More people whose legs are hurt due to exposure to heat from the exhaust outside. The purpose of this research is to analyze the influence of nanocellulose fraction to morphology, sound absorption coefficient, density, thermal stability, and thermal conductivity. The OPEFB (Oil Palm Empty Fruit Bunch) composite material is an alternative to environmentally friendly acoustic damper and heat insulation. In this research, composites were made of OPEFB with porous silicone rubber matrix. The variable used in this research is the influence of nanocellulose weight fraction (0, 6 and 8%). Tests conducted in this research include sound absorption coefficient, SEM, TEM, TGA, FTIR, density, and thermal conductivity. The addition of the weight fraction causes changes in the amount and shape of the pore. Pore with large amounts are present on 6% silicone rubber / nanocellulose with 27.366% area. The highest value of  $\alpha$  at 4000 Hz is in silicone rubber / nanocellulose 6%, which is 0.4358. The addition of the weight fraction of*

*nanocellulose also causes a change in thermal conductivity with the purpose of being an insulating material. The addition of fractions of nanocellulose in the composite makes the thermal conductivity smaller when the material is better as heat insulator but has a low thermal stability as the addition of fiber. In the case of insulation, silicone rubber/nanocellulose 8% is the best with a conductivity of  $0.19891 \text{ W / m}^\circ\text{C}$ . While in terms of thermal stability, pure porous silicon rubber has the best thermal stability because the addition of nanocellulose reduces thermal stability.*

**(Keywords : Muffler, Thermal Stability, Thermal Conductivity, Silicone Rubber, Blending)**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kasih karunia yang diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir yang dengan judul: **“Pengembangan Bahan Akustik dan Insulasi Termal Berbasis Komposit Silicone Rubber Berpenguat Nanoselulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Muffler ”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karuniaNya dari awal perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir.
2. Mama, Papa, dan keluarga atas semua doa, dukungan moril dan materiil, dan cinta yang luar biasa.
3. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
4. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. selaku dosen *co*-pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
6. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang senantiasa memberikan semangat.
7. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Keluarga HMMT dan MT 15
10. Marsha yang selalu menyemangati saat suka maupun duka dari awal sampai akhir.
11. Samuel, Axel, Sita, dan Rachmadhani selaku teman seperjuangan di Laboratorium.
12. Cikobang yang selalu memberikan candaan dan hiburan dari awal perkuliahan sampai tugas akhir.

13. Keluarga BSO MB 14/15 dan BSO MB 15/16 atas keseruannya selama pembelajaran.
14. Kelvin, Aji, Ginda, Vincent, dan Radeny selaku teman bermain DOTA (5amurai).
15. Ridho, Panji, Daru, dan Dony selaku teman kosan yang selalu menyemangati dan menghibur.
16. Afira dan Jonathan yang selalu menyemangati dan memberikan masukan.
17. Seluruh pihak yang telah memberi dukungan dan motivasi yang tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan. Penulis berharap pembaca dapat mengambil ilmu dan memberikan masukan berupa saran/kritik untuk perkembangan yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL (IND).....	i
HALAMAN JUDUL (ENG) .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK (IND).....	vii
ABSTRAK (ENG) .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit.....	5
2.2 Klasifikasi Material Komposit.....	6
2.3 Nanokomposit.....	8
2.4 Matriks <i>Silicone Rubber</i> .....	10
2.5 <i>Silicone Rubber</i> Berporos .....	13
2.6 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	14
2.6.1 Selulosa .....	18
2.6.2 <i>Nanocellulose</i> .....	19
2.7 Perlakuan Kimia Serat .....	22
2.8 Muffler.....	22
2.9 Material Penyerap Suara.....	26
2.10 Penelitian Terdahulu.....	31

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	35
3.1.1 Diagram Alir Pembuatan Komposit .....	35
3.1.2 Diagram Alir Pembuatan <i>Filler</i> Mikro Selulosa ...	36
3.1.3 Diagram Alir Pembuatan <i>Filler</i> Nano Selulosa.....	37
3.1.4 Diagram Alir Pembuatan Komposit <i>Silicone Rubber</i> Berporos .....	38
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	39
3.2.1 Bahan Penelitian .....	39
3.2.2 Peralatan Penelitian .....	43
3.3 Variabel Penelitian.....	47
3.4 Metode Penelitian .....	47
3.4.1 Persiapan Bahan .....	47
3.4.1.1 Pengolahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	47
3.4.1.2 Pembuatan Matriks <i>Silicone Rubber</i> Berporos .....	48
3.4.1.3 Pembuatan Cetakan.....	49
3.4.1.4 Pembuatan Komposit .....	49
3.4.2 Proses Pengujian.....	50
3.4.2.1 Pengujian TEM .....	50
3.4.2.2 Pengujian SEM .....	51
3.4.2.3 Pengukuran %Porositas dengan <i>Software</i> <i>ImageJ</i> .....	52
3.4.2.4 Pengujian TGA .....	53
3.4.2.5 Pengujian Konduktivitas Termal .....	54
3.4.2.6 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara.....	56
3.4.2.7 Pengujian Densitas.....	58
3.4.2.7 Pengujian FTIR.....	58
3.5 Rancangan Penelitian.....	60

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisis Konduktivitas Termal .....	61
4.2 Analisis Morfologi.....	62
4.2.1 <i>Transmission Electron Microscope</i> (TEM).....	62
4.2.2 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	64
4.2.2.1 SEM Serat .....	64
4.2.2.2 SEM Komposit .....	67
4.3 Analisis Absorpsi Suara .....	70
4.4 Analisis Densitas .....	73
4.5 Analisis Stabilitas Termal .....	74
4.6 Analisis FTIR .....	77
4.6.1 Analisis FTIR pada Hasil Perlakuan Serat TKKS	77
4.6.2 Analisis FTIR pada Komposit .....	79

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran .....	83

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxix</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>xlili</b>



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Komponen Komposit (Sulistijono, 2012) .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Komposit Partikel (Sulistijono, 2012).....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Komposit Serat (Sulistijono, 2012).....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Komposit Laminat (Sulistijono, 2012).....	8
<b>Gambar 2.5</b>	Nanokomposit berbasis polimer (Barrit et.al, 2009) .....	9
<b>Gambar 2.6</b>	Rantai Utama Polidimetilsiloksan (Maurice, 1959) .....	10
<b>Gambar 2.7</b>	Reaksi <i>Crosslink Silicone Rubber</i> pada <i>Two-Part System RTV</i> (Andre, 2005).....	11
<b>Gambar 2.8</b>	Konduktivitas termal dari beberapa material insulasi termal (Haibing, 2007).....	12
<b>Gambar 2.9</b>	Perbandingan konduktivitas termal <i>silicone rubber</i> dengan polymer lainnya (Shin-Etsu's Silicone)...	12
<b>Gambar 2.10</b>	SEM Komposit <i>Silicone Rubber</i> Berporos dengan variasi partikel NaCl 50µm (a), 120µm (b), 320µm (c), 490µm (d) (Keijiro, 2016)).....	14
<b>Gambar 2.11</b>	(Serat Alam Kelapa Sawit dari Pohonnya (Khalil, 2012) .....	15
<b>Gambar 2.12</b>	Penampang Kelapa Sawit (Ari , 2011).....	16
<b>Gambar 2.13</b>	Struktur Kimia Selulosa (Chen, 2014) .....	19
<b>Gambar 2.14</b>	Proses Hidrolisis Selulosa (Peng, 2011) .....	20
<b>Gambar 2.15</b>	TEM dari <i>Nano Fibrillated Cellulose</i> dengan Perbesaran 50.000x (Ireana, 2014).....	21
<b>Gambar 2.16</b>	Susunan Knalpot (Pamungkas, 2012) .....	24
<b>Gambar 2.17</b>	Desain Reactive Muffler (Pamungkas, 2012) .....	25
<b>Gambar 2.18</b>	Desain <i>Absorbtive Muffler</i> (Pamungkas, 2012) ...	25
<b>Gambar 2.19</b>	Penampang Melintang pada <i>Absorbtive Muffler</i> (Pamungkas, 2012).....	26
<b>Gambar 2.20</b>	Tipe Penyerapan Suara (Howard, 2009) .....	30
<b>Gambar 2.21</b>	Zona Frekuensi Tipe Wideband (Howard, 2009).	31
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Pembuatan Komposit .....	35
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram Alir Pembuatan Serat Mikro Selulosa ..	36

<b>Gambar 3.3</b>	Diagram Alir Pembuatan Serat Nano Selulosa ....	37
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram Alir Pembuatan Komposit <i>Silicone Rubber</i> Berporos .....	39
<b>Gambar 3.5</b>	Serat TKKS .....	40
<b>Gambar 3.6</b>	Aquades.....	40
<b>Gambar 3.7</b>	Silicone Rubber RTV 585 .....	40
<b>Gambar 3.8</b>	Katalis Bluesil .....	41
<b>Gambar 3.9</b>	NaCl .....	41
<b>Gambar 3.10</b>	Heksana .....	41
<b>Gambar 3.11</b>	NaOH .....	42
<b>Gambar 3.12</b>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	42
<b>Gambar 3.13</b>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	42
<b>Gambar 3.14</b>	Blender .....	43
<b>Gambar 3.15</b>	Alat <i>Sieving</i> .....	44
<b>Gambar 3.16</b>	Alat Centrifuge .....	44
<b>Gambar 3.17</b>	Alat Uji Absorpsi Suara .....	45
<b>Gambar 3.18</b>	Alat Uji SEM.....	45
<b>Gambar 3.19</b>	Alat Coating SEM .....	46
<b>Gambar 3.20</b>	Alat Uji TEM .....	46
<b>Gambar 3.21</b>	Alat Konduktivitas Termal .....	47
<b>Gambar 3.22</b>	Spesimen Uji TEM .....	50
<b>Gambar 3.23</b>	Prinsip Kerja SEM (Jinping, 2000) .....	51
<b>Gambar 3.24</b>	Spesimen Uji SEM .....	52
<b>Gambar 3.25</b>	Kotak Dialog Hasil Analisis %Porositas dengan <i>Software ImageJ</i> .....	53
<b>Gambar 3.26</b>	Prinsip kerja TGA .....	54
<b>Gambar 3.27</b>	Dimensi Spesimen Konduktivitas Termal .....	55
<b>Gambar 3.28</b>	Holder Pengujian Konduktivitas Termal .....	55
<b>Gambar 3.29</b>	Spesimen Uji Konduktivitas Termal .....	56
<b>Gambar 3.30</b>	Dimensi Spesimen Uji Absorpsi Suara .....	56
<b>Gambar 3.31</b>	Spesimen Uji Absorpsi Suara .....	57
<b>Gambar 3.32</b>	Pengujian Densitas .....	58
<b>Gambar 3.33</b>	Skema Uji FTIR (Jinping Zhou, 2000).....	59
<b>Gambar 4.1</b>	TEM serat TKKS hasil hidrolisis dengan perbesaran 80000x.....	63

<b>Gambar 4.2</b>	SEM Serat TKKS Murni Perbesaran 100x (Rahmasita, 2017) .....	65
<b>Gambar 4.3</b>	SEM Serat TKKS (a) Alkali Perbesaran 250x, (b) <i>Bleaching</i> Perbesaran 250x, dan (c) Perbesaran 1000x Setelah Hidrolisis .....	66
<b>Gambar 4.4</b>	Pengaruh fraksi <i>Filler</i> terhadap Morfologi Hasil SEM SR Berporos (a) SR Berporos Murni, (b) SR Berporos/Nano Selulosa 6%, dan (c) SR Berporos/Nano Selulosa 8% .....	68
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Intercalated Nanocomposite</i> pada SR/NS 6% dengan perbesaran 250x .....	70
<b>Gambar 4.6</b>	Pengaruh fraksi <i>filler</i> terhadap Koefisien Absorpsi Suara SR Berporos/Nano Selulosa .....	72
<b>Gambar 4.7</b>	Pengaruh fraksi <i>filler</i> Nanoselulosa terhadap Stabilitas Termal .....	75
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil Uji FTIR TKKS dengan Berbagai Perlakuan (Axel, 2017) .....	77
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Uji FTIR dari <i>Silicone Rubber Porous</i> dan <i>Silicone Rubber</i> dengan variasi <i>filler</i> 6% dan 8% .....	80

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Sifat Fisik dan Mekanik <i>Silicone Rubber</i> (Deni, 2014).....	11
<b>Tabel 2.2</b>	Komposisi Kimia dari Serat Kelapa Sawit (Shinoj, dkk, 2009) .....	17
<b>Tabel 2.3</b>	Sifat Fisik-Mekanik dari Serat Kelapa Sawit (Shinoj, dkk, 2009) .....	18
<b>Tabel 2.4</b>	Perbandingan Kebisingan pada Kendaraan 100cc dan 125cc Pamungkas (2012).....	23
<b>Tabel 2.5</b>	Temperatur panas knalpot standart <i>Suzuki Skydrive 125</i> dalam waktu 1 menit. (Deftya, 2013) .....	24
<b>Tabel 2.6</b>	Koefisien Absorpsi Beberapa Material (Doelle, 1993)) .....	29
<b>Tabel 3.1</b>	Rancangan Penelitian .....	60
<b>Tabel 4.1</b>	Pengaruh Fraksi <i>filler</i> terhadap Nilai Konduktivitas Termal SR Berporos/Nanoselulosa .....	61
<b>Tabel 4.2</b>	Pengaruh Fraksi <i>Filler</i> Nano Selulosa terhadap Perbedaan % Porositas Hasil Uji SEM .....	69
<b>Tabel 4.3</b>	Pengaruh Fraksi <i>filler</i> terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara SR/Nano Selulosa .....	71
<b>Tabel 4.4</b>	Pengaruh Fraksi <i>filler</i> Nano selulosa terhadap Nilai Densitas Komposit .....	73
<b>Tabel 4.5</b>	Pengaruh Fraksi <i>filler</i> Nano selulosa terhadap Nilai Stabilitas Termal Komposit .....	75
<b>Tabel 4.6</b>	Residu pada temperature 500°C (Hasil Pengujian). 76	
<b>Tabel 4.7</b>	Residu pada temperature 600°C ( <i>Software MatLab</i> ) .....	76
<b>Tabel 4.8</b>	Daerah Serapan IR Serat TKKS (Axel, 2017).....	78
<b>Tabel 4.9</b>	Daerah Serapan Infra Merah Komposit SR berpenguat <i>nanocellulose</i> .....	81

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Di zaman modern seperti ini, teknologi berkembang dengan sangat cepat. Tidak selamanya perkembangan teknologi memberikan dampak positif. Salah satu dampak kemajuan teknologi disektor transportasi yang bersifat negatif adalah pencemaran suara atau kebisingan (Sarwono, 1995). Kebisingan merupakan suara yang tidak dikehendaki, kebisingan yaitu bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan (KepMenLH No.48 Tahun 1996).

Mediastika (2009) mengatakan bahwa untuk mengetahui apakah suatu kebisingan yang muncul di jalan raya telah memasuki tahap polusi kebisingan, maka kebisingan yang muncul dapat diukur dengan penunjuk atau indeks polusi kebisingan (LNP). Sementara LNP yang bisa diterima adalah dibawah 74 dB. Sementara untuk range 74-88 dB pada umumnya tidak dapat diterima. Di Indonesia sendiri, terdapat peraturan mengenai batas kebisingan yang diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 tentang ambang batas kebisingan kendaraan bermotor tipe baru menyatakan bahwa kendaraan bermotor memiliki ambang batas kebisingan rata-rata 80 dB.

Salah satu sumber kebisingan itu bisa muncul dari suara lalu lintas, terutama suara mesin kendaraan bermotor. Kebisingan yang disebabkan oleh lalu lintas memiliki tekanan bunyi 80-100 dB. Sumber kebisingan tertinggi pada kehidupan manusia adalah pada kendaraan bermotor (55%). Sementara berdasar PerMenLH no.07 tahun 2009 disebutkan bahwa batas maksimal suara pada sepeda motor dengan kapasitas silinder dibawah 80 cc adalah 77dB, untuk range antara 80-175 cc adalah 83 dB dan untuk diatas 175 cc adalah 80 dB. Motor bakar merupakan salah satu





jenis penggerak yang menggunakan hasil ledakan dari pembakaran di dalam silinder untuk dirubah menjadi energi mekanik. Untuk mengurangi kebisingan mesin, maka pada kendaraan bermotor ditambahkan knalpot. Pada knalpot terdapat *silencer* atau *muffler* yang berfungsi untuk meredam kebisingan pada kendaraan. Komponen peredam suara kebisingan yang terdapat pada *muffler* biasanya terbuat dari glasswool.

Peredam suara atau absorber suara adalah salah satu bahan yang dapat menyerap energi suara dari sumber suara (Wirajaya, 2007). Energi suara yang diserap oleh bahan akan dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya, pada umumnya diubah ke energi kalor (Wirajaya, 2007). Beberapa absorption materials adalah fibers, glasswool, woven glass fiber dan sebagainya (Kalita, 2014). Selain itu pada proses manufaktur glasswool menghasilkan sulfur oksida (SO<sub>x</sub>) dan Nitrous Oksida (NO<sub>x</sub>) (EMEP/EEA Emission, 2013). Adapun jenis bahan peredam suara yang telah ada yaitu bahan berpori, resonator dan panel. Dari ketiga jenis bahan tersebut, bahan berporilah yang sering dipakai untuk mengurangi kebisingan pada ruang yang sempit. Hal ini karena bahan berpori relatif lebih murah dan ringan dibanding jenis peredam lain (Lee, 2003).

Pada perkembangannya, saat ini telah dikembangkan berbagai material komposit dari serat alam yang digunakan sebagai material peredam suara. Komposit serat alami merupakan salah satu alternatif bahan absorber suara. Serat alam pada umumnya memiliki kemampuan menyerap suara khususnya dalam mengendalikan kebisingan (Shoshani, 1990). Material penyerap suara memiliki nilai koefisien absorpsi suara yang tinggi jika material memiliki struktur berpori sehingga gelombang suara dapat diserap dan berkurang kebisingannya. *Silicone rubber* adalah material padat dengan struktur tanpa pori, akan tetapi struktur ini dapat dibuat menjadi *silicone rubber* berpori dengan mencampurkan NaCl pada campuran *silicone rubber* dan heksana (Keijiro Yoshimura, 2015). Selain itu, akan dibuat juga *filler* dalam skala nano yang diharapkan dapat meningkatkan nilai

---

## BAB I PENDAHULUAN



absorpsi suara. Oleh karena itu perlu disintesis dan dikaji lebih lanjut mengenai bahan akustik dari *silicone rubber* berpori berpenguat nanoselulosa dari serat tandan kosong kelapa sawit.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dibahas sebelumnya, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh fraksi berat nanoselulosa terhadap morfologi dan koefisien absorpsi suara pada komposit *Silicone Rubber* berpori berpenguat nanoselulosa dari STKKS?
2. Bagaimana pengaruh fraksi berat nanoselulosa terhadap kestabilan thermal pada komposit *Silicone Rubber* berpori berpenguat nanoselulosa dari STKKS?
3. Bagaimana pengaruh fraksi berat nanoselulosa terhadap konduktivitas termal pada komposit *Silicone Rubber* berpori berpenguat nanoselulosa dari STKKS?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan untuk mengasumsikan parameter konstanta yang pengaruhnya sangat kecil pada penelitian sehingga dapat diabaikan. Adapun batasan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Pengotor pada saat sintesis dan penelitian diabaikan.
2. Kadar uap air serta gas yang ada pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
3. Distribusi serat dianggap merata.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Menganalisa pengaruh fraksi berat nanoselulosa terhadap morfologi dan koefisien absorpsi suara pada komposit *Silicone Rubber* berpori berpenguat nanoselulosa dari STKKS.



2. Menganalisa pengaruh fraksi berat nanoselulosa terhadap kestabilan thermal pada komposit *Silicone Rubber* berpori berpenguat nanoselulosa dari STKKS.
3. Menganalisa pengaruh fraksi berat nanoselulosa terhadap konduktivitas termal pada komposit *Silicone Rubber* berpori berpenguat nanoselulosa dari STKKS.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Mendapatkan inovasi baru dalam pengembangan teknologi material komposit berpenguat serat/filler alami dalam aplikasinya sebagai penyerap suara dan insulasi termal.
2. Memanfaatkan limbah organik dari tandan kosong kelapa sawit dan memberikan nilai guna yang lebih.
3. Memberikan referensi untuk penelitian selanjutnya

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Material Komposit**

Komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik yang dengan struktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Material campuran tersebut akan menghasilkan material yang baru yang memiliki sifat unggul dari material pembentuknya (Sulistijono, 2012).

Multifasa yang terjadi pada material komposit bukan terjadi secara natural melalui reaksi, transformasi fasa dan sebagainya. Material komposit berbeda dengan material paduan. Material paduan adalah material yang dibentuk dari dua komponen atau lebih yang terbentuk secara natural dengan proses *casting*. (Chung, 2010).

Keuntungan utama dari material komposit adalah kekuatan dan kekakuan yang tinggi, dikombinasikan dengan kepadatan yang rendah. Fasa penguat memberikan kekuatan dan kekakuan. Dalam kebanyakan kasus, penguat lebih keras, lebih kuat, dan lebih kaku daripada matriks. Penguat biasanya berupa sebuah serat atau partikulat. (Campbell, 2010).

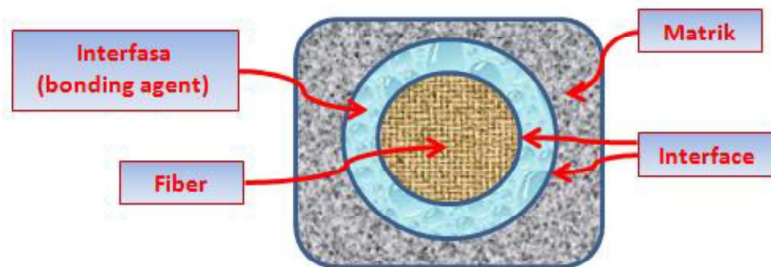
Dalam merancang material komposit, para ilmuwan dan insinyur telah cerdas menggabungkan berbagai logam, keramik, dan polimer untuk menghasilkan material generasi baru yang luar biasa. Kebanyakan komposit telah diciptakan untuk meningkatkan kombinasi karakteristik mekanis seperti kekakuan, ketangguhan, dan kekuatan temperature ambient dan tinggi.

Banyak material komposit terdiri dari hanya dua fase; salah satu yang disebut matriks, yang kontinu dan mengelilingi fase lainnya, sering disebut fase terdispersi. Sifat-sifat komposit merupakan fungsi dari sifat-sifat fase konstituen, jumlah



relatifnya, dan geometri dari fase terdispersi (Callister dan Rethwisch, 2010).

Partikel pengisi (filler) sering kali diterapkan pada matriks komposit untuk mengurangi biaya/harga komposit dengan serat nabati/alam yang harganya relative murah, tetapi dengan konsekuensi memiliki sifat yang kurang bagus, sebaliknya partikel pengisi (filler) yang memiliki sifat tahan panas, konduktor panas dan listrik yang bagus juga bisa meningkatkan sifat baik komposit, sehingga komposit partikel bisa didesain agar memiliki ketahanan aus, abrasi, korosi, kekerasan permukaan yang tinggi, sifat magnet dan sebagainya tergantung dari jenis partikel pengisinya. (Bambang Kismono, 1990) Komponen komposit akan terbagi menjadi 4, yaitu : *Fiber*, *Interfasa* (*bonding agent*), Matriks, dan *Interface* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Komponen Komposit

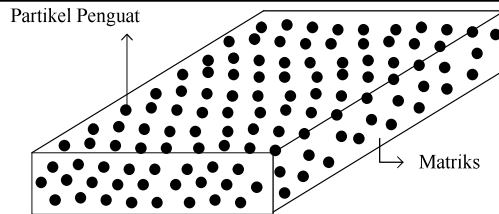
## 2.2 Klasifikasi Material Komposit

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu

1. Komposit Partikel, yaitu komposit yang tersusun atas matriks kontinyu dan penguat (reinforced) yang diskontinyu yang berbentuk partikel, fiber pendek atau whiskers seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut :

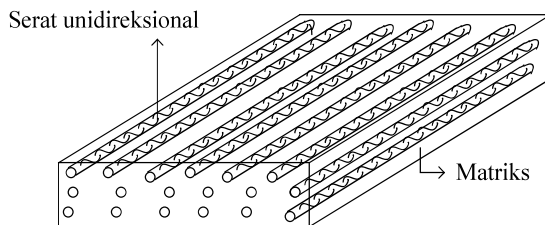
---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



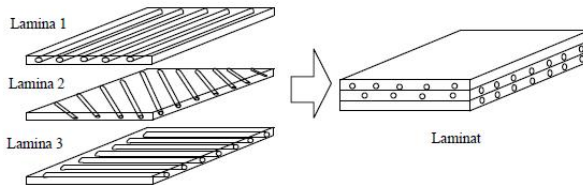
**Gambar 2.2** Komposit Partikel (Sulistijono, 2012)

2. Komposit Serat, yaitu komposit yang tersusun atas matriks kontinyu dan memiliki penguat berbentuk serat/fiber seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut :



**Gambar 2.3** Komposit Serat (Sulistijono, 2012)

3. Komposit Laminat, yaitu komposit yang terdiri dari beberapa lapisan lamina berpenguat fiber atau lamina berpenguat partikel atau lamina logam atau kombinasi dari lamina-lamina dengan material yang berbeda dimana lapisan saling terikat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut :



**Gambar 2.4** Komposit Laminat (Sulistijono, 2012)

Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu

1. *Metal Matriks Composite* (menggunakan matriks logam) MMC adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam.
2. *Ceramic Matriks Composite* (menggunakan matriks keramik) CMC merupakan material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai penguat dan satu fasa sebagai matriks dimana matriksnya terbuat dari keramik.
3. *Polymer Matriks Composite* (menggunakan matriks polimer). Polimer merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material komposit, karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan.

### 2.3 Nanokomposit

Nanokomposit dapat dianggap sebagai struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang berulang pada jarak antar-bentuk penyusun struktur yang berbeda. Material-material dengan jenis seperti itu terdiri atas padatan inorganik yang tersusun atas komponen organik. Selain itu, material nanokomposit dapat pula terdiri atas dua atau lebih molekul inorganik/organik dalam beberapa bentuk kombinasi dengan

---

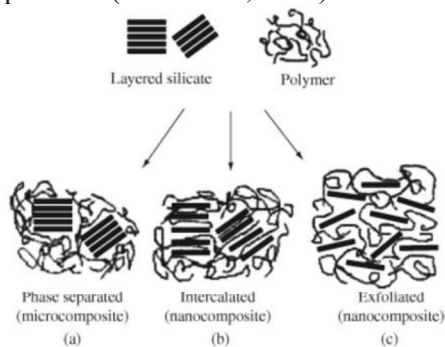
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



pembatas antar keduanya minimal satu molekul atau memiliki ciri berukuran nano.

Ikatan antar partikel yang terjadi pada material nanokomposit memainkan peranan penting pada peningkatan dan pembatasan sifat material. Partikel-partikel yang berukuran nano tersebut memiliki luas permukaan interaksi yang tinggi. Semakin banyak partikel yang berinteraksi, semakin kuat pula material. Inilah yang membuat ikatan antar partikel semakin kuat sehingga sifat mekanik material bertambah. Namun, penambahan partikel-partikel nano tidak selamanya akan meningkatkan sifat mekaniknya. Ada batas tertentu dimana saat dilakukan penambahan, kekuatan material justru semakin berkurang. Namun pada umumnya, material nanokomposit menunjukkan perbedaan sifat mekanik, listrik, optik, elektrokimia, katalis, dan struktur dibandingkan dengan material penyusunnya. (Ida Sriyanti, 2009)

*Nanocomposite* berbasis polimer yang mengandung bahan berlapis bisa dibagi menjadi dua bentuk utama: *exfoliated nanocomposites* dan *intercalated nanocomposites* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. *exfoliated nanocomposites* terdiri dari lembaran berlapis tunggal atau beberapa dimasukkan dalam matriks polimer. Sebaliknya, *intercalated nanocomposites* adalah material yang terbentuk ketika lembaran berlapis ditumpuk dengan rantai polimer. (Barrit et.al, 2009)



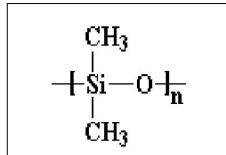
**Gambar 2.5** Nanokomposit berbasis polimer (Barrit et.al, 2009)





## 2.4 Matriks *Silicone Rubber*

Rantai utama polimer silikon adalah polidimetilsiloksan dengan rantai utama Si-O dan dua gugus metil pada setiap silikon seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Rantai utama Si-O memberikan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap ozon, oksigen, panas (hingga 315°C), sinar UV, kelembaban, dan efek cuaca secara umum. Sedangkan pengganti gugus metil memberikan tingkat fleksibilitas yang tinggi. (Ciullo, 1996).



**Gambar 2.6** Rantai Utama Polidimetilsiloksan (Maurice, 1959)

Pada umumnya, karet silikon merupakan campuran berkekuatan rendah yang berguna pada tingkat temperatur -8 hingga 450 °F (-62.2 hingga 232.2°C). Karet silikon juga mempunyai ketahanan terhadap api, cahaya, dan ozon yang sangat baik. Karet silikon kurang tahan terhadap fluida. Karet silikon sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap panas karena mempunyai temperatur transisi glass yang rendah yaitu -197 °F (-127.2°C) sehingga membuatnya memiliki fleksibilitas pada temperature rendah yang cukup baik. Campuran yang berbasis karet silikon mempunyai kekuatan tear yang sangat rendah dan pada biasanya tidak cocok untuk aplikasi dinamik. (Dick, 2001). Sifat permukaan karet silikon dipengaruhi oleh empat karakteristik struktural (Owens, 2012), yaitu :

1. Gaya intermolekul yang rendah antara gugus metil
2. Fleksibilitas yang tinggi dari rantai utama siloksan
3. Kekuatan yang tinggi dari ikatan siloksan
4. Ionik parsial alami yang dimiliki oleh ikatan siloksan

Sedangkan untuk sifat fisik dan mekanik yang dimiliki oleh *Silicone Rubber* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

---

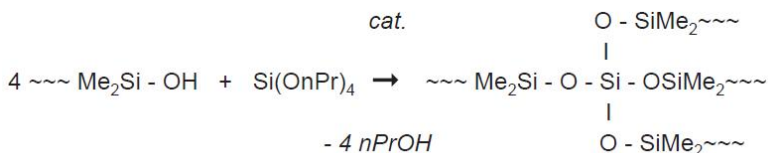
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



**Tabel 2.1** Sifat Fisik dan Mekanik *Silicone Rubber* (Deni, 2014)

Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	0.8
Kuat Tarik (MPa)	4.4 - 9
Kuat Tekan (MPa)	10 - 30
Hardness Vickers (VHN)	15

*Silicone rubber* dapat membentuk *crosslink* dengan beberapa senyawa. Polimer ini berikatan secara *crosslink* menggunakan katalis panas. Proses *curing/vulcanizir* ini bertujuan untuk membentuk *crosslink*, memperbaiki plastik yang kaku atau elastomer pelapis. Banyak *curing agent* yang dapat digunakan untuk membentuk *crosslink* pada *silicone rubber*, seperti benzoil peroksida dan katalis bluesil untuk resin RTV (*Room Temperature Vulcanizir*) *silicone rubber*.



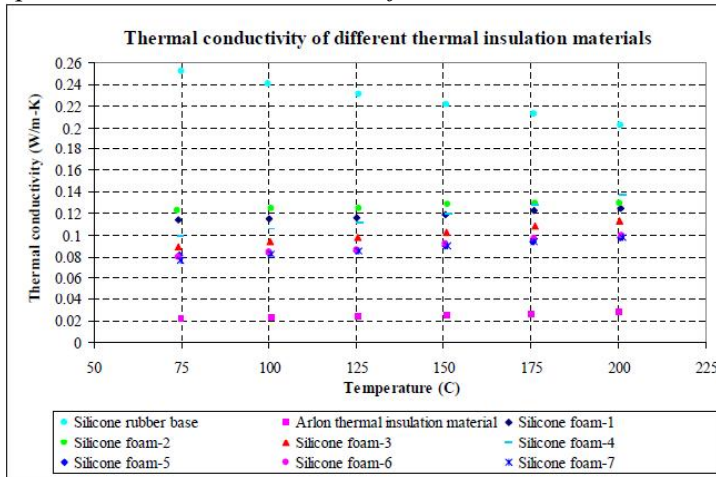
**Gambar 2.7** Reaksi *Crosslink Silicone Rubber* pada *Two-Part System RTV* (Andre, 2005)

*Silicone rubber* RTV dengan sistem dua bagian memiliki pasangan resin dan katalis. Dimana katalis ini akan memicu terbentuknya *crosslink* seperti pada Gambar 2.7. Reaksi ini menghasilkan *byproduct* berupa alkohol ( $R'OH$ ) setelah proses *curing* (Andre, 2005).

Konduktivitas termal bahan isolasi termal yang berbeda ditentukan oleh ASTM E1530. Instrumen yang digunakan adalah Thermal Conductivity Analyzer (TCA, Holometrix Model TCA-300). Hasil pengujian konduktivitas termal ditunjukkan pada Gambar 2.8. "*Silicone rubber base*" terdiri dari silikon murni karet dengan  $\sim 25\%$  silika. *Silicone rubber* memiliki konduktivitas termal tertinggi,  $0.20\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  pada  $200^\circ\text{C}$ . Tujuh jenis *silicone foam* yang diuji. Kisaran konduktivitas termal untuk

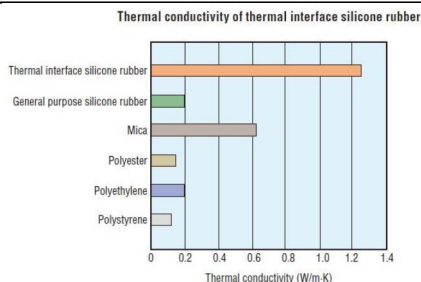


semua bahan *silicone foam* dievaluasi adalah antara, 0.10-0.14W/(m-K), pada 200°C suhu pengujian. Konduktivitas termal dari *silicone foam* adalah sekitar setengah nilai dari *pure silicone rubber*. Insulasi termal baru Arlon memiliki konduktivitas termal hanya 0.03W/(m-K) pada 200°C, yang merupakan sekitar tujuh kali lebih kecil dari *pure silicone rubber* atau sekitar tiga sampai empat kali lebih kecil dari *silicone foam*



**Gambar 2.8** Konduktivitas termal dari beberapa material insulasi termal (Haibing, 2007)

Konduktivitas termal *silicone rubber* adalah sekitar 0,2 W/(m-K) seperti pada Gambar 2.9, dimana memiliki nilai lebih tinggi dari karet organik umum. Beberapa *silicone rubber* mengandung proporsi yang tinggi dari pengisi anorganik khusus untuk meningkatkan konduktivitas termal (sekitar 1,3 W/(m-K)).



**Gambar 2.9** Perbandingan konduktivitas termal *silicone rubber* dengan polymer lainnya (Shin-Etsu's Silicone)

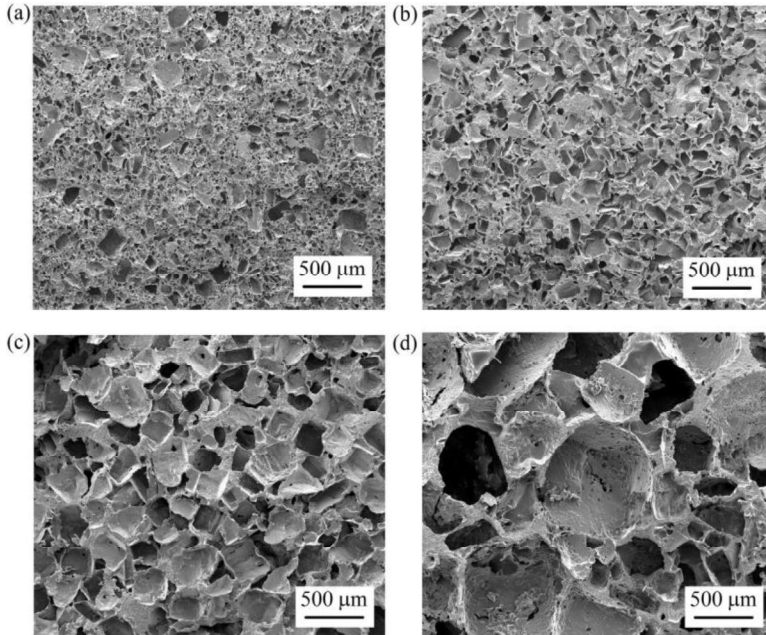
## 2.5. Silicone Rubber Berporos

Polimer berpori memiliki aplikasi yang luas. Salah satu strategi untuk menghasilkan polimer berporos adalah dengan proses pemisahan fasa (M. Ulbricht, 2006). Metode pemisahan fasa dapat diklasifikasikan menjadi empat metode utama, yaitu presipitasi oleh pendinginan yang disebut *Thermal Induced Phase Separation* (TIPS), presipitasi oleh imersi yang disebut *Nonsolvent-Induced Phase Separation* (NIPS), presipitasi oleh penyerapan non pelarut (air) dari fase uap (*Vapor Induced Phase Separation/VIPS*) dan *Evaporation-Induced Phase Separation* (EIPS). (Jian Zhao, 2013)

Metode pembuatan *silicone rubber* poros yang berstruktur padat juga dapat dilakukan dengan mencampurkan precursor *silicone rubber*, curing agent dan *sacrificial filler* untuk membentuk struktur poros. *Sacrificial filler* diutamakan adalah garam (J.P. Fuller, 2000). *Silicone rubber* memiliki kekentalan yang tinggi, sehingga akan sulit untuk melakukan pencampuran dengan *sacrificial filler*. Oleh karena itu digunakan heksana sebagai pelarut untuk menurunkan viskositas dari campuran (Keijiyo Yoshimura, 2016). Heksana dapat diuapkan secara alami pada proses pengadukan selama 3 jam (Luheng Wang, 2010) atau diletakkan pada 30°C selama 60 menit untuk menguapkan heksana (Rui Xu, 2015). Untuk menghilangkan kandungan garam,



setelah *curing*, campuran dicuci dengan air beberapa kali hingga kandungan garam hilang (Keijiro Yoshimura, 2016). Hasil morfologi dari *silicone rubber* berporos pada penelitian Keijiro (2016) dapat dilihat pada Gambar 2.10



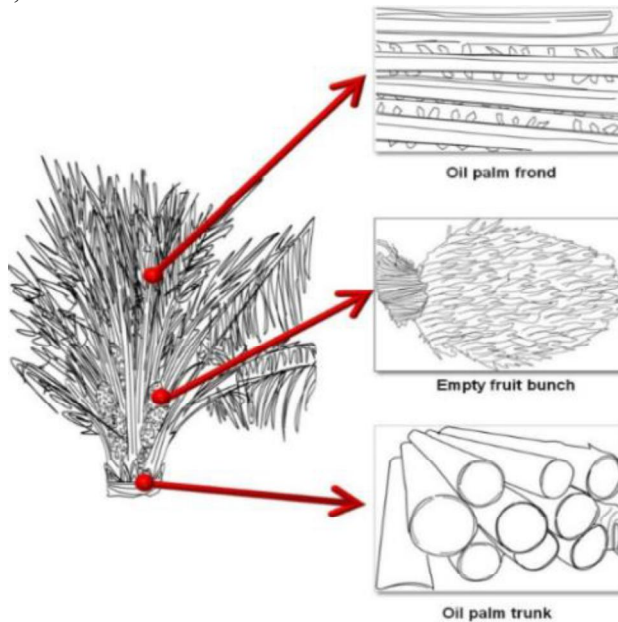
**Gambar 2.10** SEM Komposit *Silicone Rubber* Berporos dengan variasi partikel NaCl 50  $\mu\text{m}$  (a), 120  $\mu\text{m}$  (b), 320  $\mu\text{m}$  (c), 490  $\mu\text{m}$  (d) (Keijiro, 2016)

## 2.6 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu dari beberapa tanaman golongan *palm* dan berkeping satu yang termasuk dalam *family palmae*. Nama *genus Elaeis* berasal dari Bahasa Yunani *Elatlori* atau minyak, sedangkan nama spesies *Guineensis* berasal dari kata *Guinea*, yaitu tempat dimana seorang ahli bernama



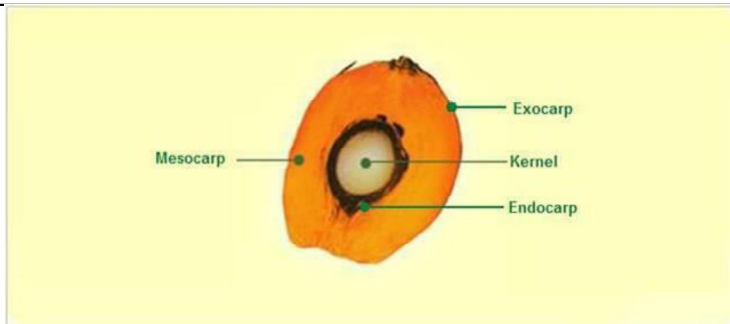
Jacquin menemukan tanaman kelapa sawit pertama kali di Guinea, Afrika Barat.



**Gambar 2.11** Serat Alam Kelapa Sawit dari Pohonnya (Khalil, 2012)

Bagian-bagian yang terdapat pada buah kelapa sawit dapat terlihat dari Gambar 2.12 dibawah ini, diantaranya sebagai berikut:

1. *Exocarp*
2. *Mesocarp* (daging buah)
3. *Endocarp* (cangkang)
4. *Kernel*



**Gambar 2.12** Penampang Kelapa Sawit (Ari , 2011)

Gambar dari tandan kosong ditunjukkan pada Gambar 2.11. Serat tandan kosong kelapa sawit (STKKS) dan serat kelapa sawit mesocarp (Gambar 2.12) merupakan dua jenis penting dari material berserat yang tersisa di pabrik kelapa sawit. Serat TKKS diekstraksi dengan proses retting dari tandan kosong. Serat mesocarp ditinggalkan sebagai material limbah setelah proses ekstraksi minyak. Serat ini harus dibersihkan dari material berminyak dan kotor. Satu-satunya penggunaan material kaya selulosa yang sangat sering saat ini adalah sebagai bahan bakar boiler dan dalam pembuatan pupuk kalium. Serat kelapa sawit bersifat keras dan tangguh, dan menunjukkan kesamaan dengan serat sabut dalam struktur selular. Sampai saat ini, tidak ada kerja yang sistematis telah dilakukan untuk mengevaluasi sifat morfologi dan fisik dari serat kelapa sawit (Sreekala dkk, 1997). Adapun Komposisi Kimia dari Serat Kelapa Sawit seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 dan Sifat Fisik Mekanik dari Serat Kelapa Sawit yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

---

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



**Tabel 2.2** Komposisi Kimia dari Serat Kelapa Sawit (Shinoj, dkk, 2009)

Constituents	Range
Cellulose (%)	42.7-65
Lignin (%)	13.2-25.31
Hemicellulosa (%)	17.1-33.5
Holocellulose (%)	68.3-86.3
Ash content (%)	1.3-6.04
Extractives in hot water (%)	2.8-14.79
Solubles in cold water (30°C) (%)	8-11.46
Alkali soluble (%)	14.5-31.17
Alfa-cellulose (%)	41.9-60.6
Alcohol-benzene solubility (%)	2.7-12
Pentosan (%)	17.8-20.3
Arabinose (%)	2.5
Xylose (%)	33.1
Mannose (%)	1.3
Galactose (%)	1.0
Glucose (%)	66.4
Silica (EDAX) (%)	1.8
Cooper (g/g)	0.8
Calcium (g/g)	2.8
Manganese (g/g)	7.4
Iron (g/g)	10.0
Sodium (g/g)	11.0





**Tabel 2.3** Sifat Fisik-Mekanik dari Serat Kelapa Sawit (Shinoj, dkk, 2009)

Property	Range
Diameter ( $\mu\text{m}$ )	150-500
Microfibrillar angle ( $^{\circ}$ )	46
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.7-1.55
Tensile strength (MPa)	50-400
Young's Modulus (GPa)	0.57-9
Elongation at break (%)	4-18
Tensile strain (%)	13.71
Light-weighted fiber length (mm)	0.99
Cell wall thickness ( $\mu\text{m}$ )	3.38
Fiber coarseness (mg/g)	1.37
Fines ( $<0.2\text{mm}$ ) (%)	27.6
Rigidity index, $(T/D)^3 \times 10^{-4}$	55.43

### 2.6.1 Selulosa

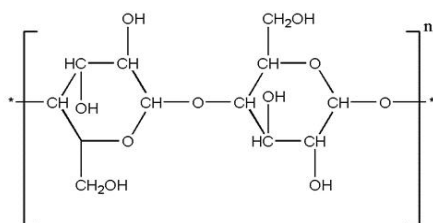
Selulosa merupakan suatu polisakarida yang mempunyai formula umum seperti pati ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) $_n$ . Sebagian besar selulosa terdapat pada dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuhan-tumbuhan (Anggorodi, 1994). Selulosa merupakan substansi yang tidak larut dalam air yang terdapat di dalam dinding sel tanaman terutama dari bagian batang, tangkai dan

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



semua bagian yang mengandung kayu. Selulosa merupakan homopolisakarida yang mempunyai molekul berbentuk linear (Lehninger et.al, 2000). Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Di alam, biasanya selulosa berasosiasi dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk kerangka utama dinding sel tumbuhan (Holtzapple et.al, 2003). Struktur kimia selulosa ditunjukkan pada Gambar 2.13.

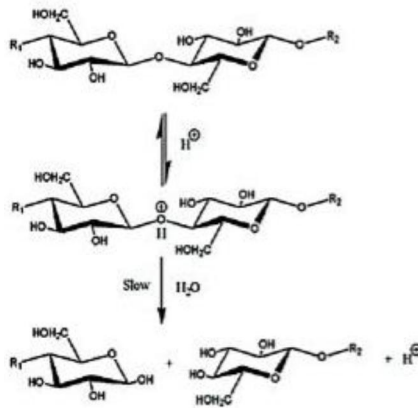


**Gambar 2.13** Struktur Kimia Selulosa (Chen, 2014)

### 2.6.2 Nanocellulose

*Nanocellulose* diekstrak dari serat setelah kelarutan lengkap dari fraksi non-kristalin (Kalia, 2013). Berbagai metode isolasi seperti steam explosion, enzimatik dan hidrolisis asam telah digunakan untuk mengisolasi partikel kristalin. Di antara metode yang disebutkan tersebut, hidrolisis asam adalah yang terkenal dan selalu menjadi pendekatan utama. Pendekatan ini mengadopsi asam untuk memecah bagian selulosa yang berantakan dan amorfus, meninggalkan domain kristalin utuh. Selulosa kristalin ukuran nano diperoleh selalu disebut sebagai *NanoCrystalline Cellulose* (NCC), or *Cellulose NanoCrystals* (CNC) (Shanmugarajah, 2015).

Mengisolasi selulosa berukuran nano dari serat lignoselulosa dapat dicapai dengan menggunakan perlakuan kimia murni dari hidrolisis asam kuat mengakibatkan suspensi koloid agregat, tinggi kristal dan dengan rasio aspek rendah bundel fibril (Pääkko, 2007).



**Gambar 2.14** Proses Hidrolisis Selulosa (Peng, 2011)

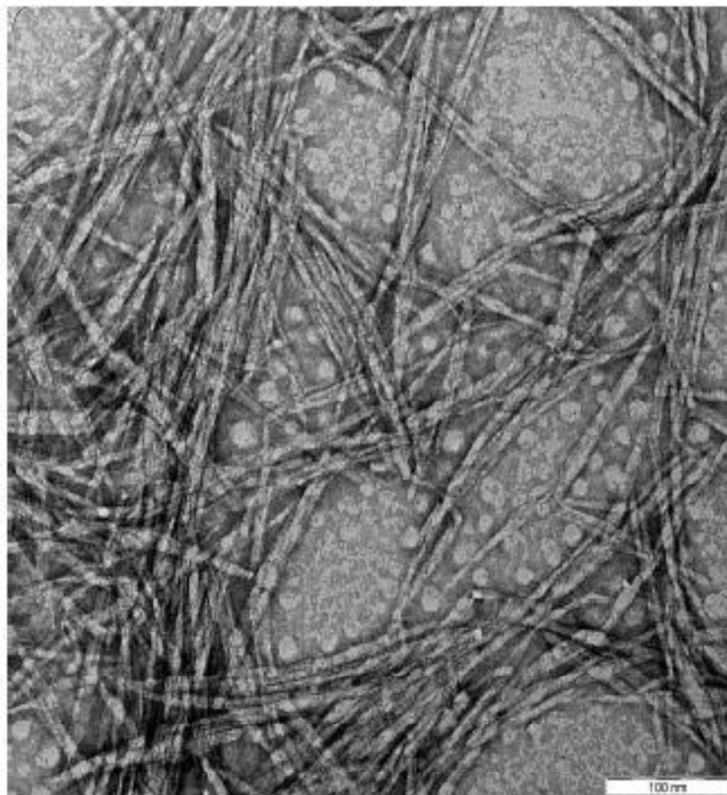
Proses hidrolisis selulosa (Gambar 2.14) adalah proses utama untuk sintesis nanoselulosa. Hidrolisis asam melibatkan depolimerisasi rantai selulosa dengan pemecahan secara hidrolitik pada ikatan glikosida. Depolimerisasi selulosa terjadi secara acak, dimana asam cenderung menyerang selulosa amorf daripada kristal, sehingga mengakibatkan pembentukan ukuran seragam nanoselulosa (L. Brinci, 2013). Sehingga, daerah amorf dalam mikrofibril selulosa mudah terurai menjadi kristal lebih pendek ketika lignoselulosa mengalami depolimerisasi (Beck-Candanedo, 2005). Hidrolisis asam juga menyebabkan turunnya stabilitas termal (Joao Paulo, 2012).

Proses isolasi nanoselulosa dari tandan kosong adalah dengan menggiling tandan kosong, kemudian menyaringnya. Serbuk tandan kosong yang sudah disaring dicuci dengan air destilasi untuk menghilangkan zat-zat lunak yang menutupi permukaan serat. Setelah itu, serbuk tandan kosong direndam larutan NaOH 2% selama 3 jam pada 70°C dibawah pengadukan magnetik. Kemudian sampel dicuci menggunakan air destilasi untuk menghilangkan sisa alkali pada permukaan. Lalu serat di-*bleaching* kemudian dicuci menggunakan air destilasi untuk mencapai pH 7. Selanjutnya proses hidrolisis dilakukan dengan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



menggunakan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  64% pada temperatur  $40^\circ\text{C}$  dibawah pengadukan mekanik selama 45 menit. Reaksi dihentikan dengan mengencerkannya menggunakan air yang telah dimurnikan. Sisa asam sulfat dihilangkan dengan sentrifugasi pada 7000rpm selama 10 menit. (Bawaani, 2015). Gambar 2.15 merupakan hasil TEM dari *Nano Fibrillated Cellulose*.



**Gambar 2.15** TEM dari *Nano Fibrillated Cellulose* dengan Perbesaran 50.000x (Ireana, 2014)

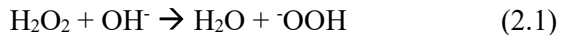


### 2.7 Perlakuan Kimia Serat

Banyak sekali pembuatan komposit menggunakan serat alam dikarenakan biaya yang ekonomis dan dapat menjadi penguat dari komposit. Peningkatan kekuatan diantara kedua bahan dapat dicapai dengan memodifikasi secara kimiawi.

Alkalisasi adalah perlakuan kimia untuk memodifikasi permukaan serat alam yang digunakan dengan cara memecah ikatan lignin, hemiselulosa, lilin dan minyak yang mengelilingi permukaan serat. Proses alkalisasi dilakukan dengan merendam serat menggunakan larutan NaOH 2%wt dalam waktu tertentu (Matthew, 2010).

Perlakuan bleaching dengan hydrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) bertujuan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa yang belum hilang dari proses alkalisasi. Hidrogen peroksida sebagai agen oksidasi pada proses bleaching menyebabkan serat mengalami perubahan warna. Ion perhidroksil ( $\cdot\text{OOH}$ ) dihasilkan dari penguraian hydrogen peroksida ke dalam larutan NaOH. Ion  $\cdot\text{OOH}$  mendeformasi ikatan lignin dan selulosa (Rayung, 2014). Reaksi kimia bleaching ditunjukkan dengan persamaan :



Perlakuan hidrolisis asam bertujuan untuk memecah bagian amorfus dari selulosa sehingga mereduksi ukuran serat. Serat nanoselulosa dipersiapkan dengan perendaman dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  64%. Ketika asam sulfat berdifusi ke dalam serat terjadi pemisahan ikatan glikosidik sehingga terjadi pemisahan fibril pada selulosa. Kondisi ini harus dijaga agar tidak terjadi hidrolisis sempurna glukosa (Dong, 1998)

### 2.8 Muffler

Exhaust system yang biasa disebut knalpot merupakan salah satu bagian vital dari sebuah kendaraan bermotor. Mesin kendaraan menghasilkan suara bising antara 100-130 dB tergantung dari jenis dan tipe dari mesin tersebut. Padahal,

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



seharusnya ambang batas yang bisa didengar oleh manusia adalah 80dB (Rahman, 2005).

Pamungkas (2012), melakukan penelitian terhadap pengaruh knalpot terhadap penyerpan bunyi pada kendaraan 100cc dan 125cc yang dapat dilihat pada Tabel 2.4. Berikut adalah perbandingan kebisingan yang dihasilkan dari sepeda motor 100cc dan 125cc dengan menggunakan knalpot dan tanpa knalpot.

**Tabel 2.4** Perbandingan Kebisingan pada Kendaraan 100cc dan 125cc Pamungkas (2012)

putaran mesin (rpm)	Kebisingan (dB)			
	100cc		125cc	
	dengan Knalpot	tanpa knalpot	dengan Knalpot	tanpa knalpot
1050	66.47	77.38	62.86	70.53
1545	72.23	82.9	67.28	81.2
2070	76.13	84.62	71.46	84.15
2550	77.28	87.21	73.47	85.41
3060	81.11	91.41	75.58	87.38
3540	82.99	93.66	78.04	89.43
4020	84.64	95.42	80.67	91.93
4515	86.57	96.35	84.45	95.06
5070	86.39	98.68	86.29	100.13

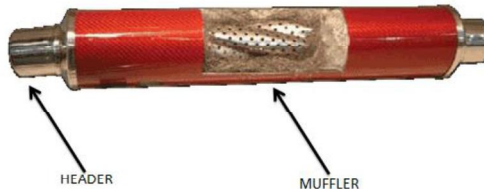
Deftya (2013), melakukan penelitian terhadap pengaruh rpm terhadap temperature pada 3 titik yaitu temperature dalam knalpot, temperature gas buang, dan temperature body knalpot seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5 Berikut merupakan perbandingan temperature dengan variasi rpm 2000 (idle), 4000, dan 7000.



**Tabel 2.5** Temperatur panas knalpot standart *Suzuki Skydrive 125* dalam waktu 1 menit. (Deftya, 2013)

Rpm	Temperatur											
	T dalam knalpot (°C)				T gas buang (°C)				T body knalpot (°C)			
	T1	T2	T3	Tx	T1	T2	T3	Tx	T1	T2	T3	Tx
2000 (idle)	134	137	138	126.3	143	151	153	149	79	70	73	74.3
4000	156	166	160	160.7	154	1500	158	154	80	82	78	80
7000	195	241	314	250	200	227	243	223.3	103	115	124	114

Pada konstruksi knalpot terdapat dua saluran utama yaitu *header* dan *muffler* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. *Header* adalah komponen bagian depan knalpot yang langsung berhubungan dengan kepala silinder yang berfungsi untuk menjaga tekanan pembuangan, sedangkan *muffler* terdapat dibagian belakang knalpot yang berfungsi untuk mereduksi suara yang dikeluarkan saat pembuangan.



**Gambar 2.16** Susunan Knalpot (Pamungkas, 2012)

*Muffler* adalah alat peredam kebisingan pada kendaraan, apakah itu mobil, sepeda motor, dan lain sebagainya. Dalam hal ini muffler merupakan alat untuk meredam tekanan gas buang yang ditimbulkan dari pembakaran antara udara dan bahan bakar pada ruang bakar suatu kendaraan baik kendaraan diesel atau kendaraan berbahan bakar bensin.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

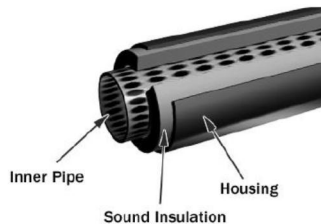


Secara umum terdapat dua jenis *muffler*, yaitu *absorbive muffler* dan *reactive muffler*. *Reactive muffler* adalah *muffler* yang dirancang dengan menggunakan ruang resonansi untuk menghilangkan gelombang suara yang dipantulkan pada dinding-dinding muffler sesuai dengan metode superposisi. Knalpot jenis ini dirancang berdasarkan prinsip Helmholtz. Dalam prinsip ini terdapat suatu rongga atau celah yang dipasang di dalam knalpot dimana pada frekuensi tertentu, rongga tersebut akan beresonansi yang mengakibatkan gelombang suara tersebut terpantul kembali kearah mesin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



**Gambar 2.17** Desain Reactive Muffler (Pamungkas, 2012)

Sedangkan *absorbive muffler* adalah *muffler* yang dirancang khusus menggunakan peredam untuk menyerap gelombang suara yang keluar dari mesin tanpa memperdulikan tekanan gas buang. Gelombang suara yang masuk kedalam muffler direduksi dan dirubah menjadi energy panas oleh material penyerap suara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18.



**Gambar 2.18** Desain Absorbive Muffler (Pamungkas, 2012)





Pada dasarnya konsep peredamaman pada knalpot adalah tekanan dan kecepatan gas buang yang keluar dari engine dihambat / diturunkan oleh dinding penyekat, lubang-lubang yang terdapat pada inner pipe dan material penyerap suara. Material penyerap suara yang biasa digunakan pada muffler adalah glasswool. Gelombang suara dengan tekanan tinggi yang masuk pada muffler akan dikeluarkan melalui lubang-lubang yang terdapat pada inner pipe. Gelombang suara tersebut kemudian akan diserap oleh glasswool yang terdapat pada muffler. Penampang melintang pada absorptive muffler dapat dilihat pada Gambar 2.19 berikut.



**Gambar 2. 19** Penampang Melintang pada *Absorbtive Muffler*  
(Pamungkas, 2012)

## 2.9 Material Penyerap Suara

Menurut (Lewis dan Douglas, 1993) material akustik dapat dibagi kedalam tiga kategori dasar, yaitu: (1) material penyerap (absorbing material), (2) material penghalang (barrier material), (3) material peredam (damping material).

Pada dasarnya semua bahan dapat menyerap energi suara, namun besarnya energi yang diserap berbeda-beda untuk tiap bahan. Energi suara tersebut dikonversi menjadi energi panas, yang merupakan hasil dari friksi dan resistansi dari berbagai material untuk bergerak dan berdeformasi. Sama halnya dengan besar energi suara yang sangat kecil bila dilihat dalam satuan Watt, energi panas yang dihasilkan juga sangat kecil sehingga

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



secara makrokopis tidak akan terlalu terasa perubahan temperatur pada bahan tersebut

Jumlah energi bunyi yang dipantulkan oleh suatu permukaan bergantung pada luas permukaan yang dikenainya. Dinding lantai, dan langit-langit datar dapat menjadi pemantul yang baik maupun sebaliknya. Bahan-bahan yang kurang tegar dan berpori seperti kain, tirai dan taplak perabotan merupakan bahan menyerap bunyi.

Proses pemindahan daya bunyi dalam ruangan tertentu untuk mengurangi tingkat tekanan bunyi disebut penyerapan bunyi. Proses ini berkaitan dengan penurunan jumlah energi di udara yang menjalar hingga mengenai suatu media berpori atau fleksibel. Energi terserap ketika gelombang bunyi yang dipantulkan dari disebut koefisien serapan bunyi dari material. Harga koefisien serapan bunyi ini tergantung dari sifat material, frekuensi bunyi dan sudut gelombang bunyi ketika mengenai permukaan material. Koefisien serapan bunyi ( $\alpha$ ) adalah:

$$\alpha = I_a / I_i \quad (2.2)$$

Dimana :  $I_a$  = Intensitas bunyi yang diserap ( $W/m^2$ )

$I_i$  = Intensitas bunyi yang terjadi ( $W/m^2$ )

Total luas daerah yang diserap (*Total Room Sound Absorption*)

$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n = \sum S_i \alpha_i \quad (2.3)$$

Dimana :  $A$  = Luas Permukaan yang diserap ( $m^2$ )

$S_n$  = Luas daerah permukaan ( $m^2$ )

$\alpha_n$  = koefisien serapan dari permukaan material

Koefisien Serapan Rata-Rata (*Mean Absorption Coefficient*)

$$\alpha_m = A / S \quad (2.4)$$



Dimana :  $\alpha_m$  = Koefisien Serapan Rata-Rata

$A$  = Luas Daerah Yang Diserap ( $m^2$ )  
(Munthe, 2008)

Ketika gelombang bunyi menumbuk material penyerap, maka energi bunyi sebagian akan diserap dan diubah menjadi panas. Besarnya penyerapan bunyi pada material penyerap dinyatakan dengan koefisien serapan ( $\alpha$ ). Koefisien serapan ( $\alpha$ ) dinyatakan dalam bilangan antara 0 dan 1. Nilai koefisien serapan 0 menyatakan tidak ada energi bunyi yang diserap dan nilai koefisien serapan 1 menyatakan serapan yang sempurna (Mediastika, 2009).

Menurut Jorge P.Arena dan Malcolm J Crocker, material penyerap suara menyerap energi suara yang melewatinya membuat nya sangat berguna untuk mengontrol kebisingan. Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang telah ada. Pada tahun 1970-an, masalah kesehatan masyarakat membantu menemukan material utama bahan penyerap suara berbasis asbes untuk serat sintetis baru. Meskipun serat ini lebih aman bagi kesehatan manusia namun dapat berakibat pada pemanasan global. Produksi bahan sintetis berkontribusi pada emisi karbon dioksida, metana dan nitro oksida yang nantinya berbahaya pula bagi kesehatan manusia. Maka mulailah bermunculan penelitian penyerap suara yang memanfaatkan serat alami. (Lord HW, 1987)

Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang ada, material ini memiliki sifat absorbs yang bergantung pada frekuensi, komposisi, ketebalan, kehalusan permukaan dan metode pembuatan. Namun biasanya material yang memiliki nilai koefisien penyerap suara yang tinggi adalah material berpori. Material penyerap berpori adalah material solid yang mengandung rongga sehingga gelombang suara dapat masuk melewatinya. Material penyerap berpori dapat diklasifikasikan sebagai selular, serat, dan granular pada konfigurasi mikroskopisnya. Material ini terdiri dari lubang kecil sebagai

---

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



jalan masuknya gelombang suara. Sel *Polyurethane* dan foam adalah salah satu jenis dari material selular. Sementara material serat biasanya terdiri dari serat alami dan serat sintetis. Dan contoh dari granular material yaitu *asphalt*, tanah liat, pasir, tanah dan sebagainya (Arenas dan Crocker, 2010). Untuk nilai koefisien penyerapan bunyi pada berbagai material dengan ketebalan tertentu dapat dilihat pada Tabel 2.6

**Tabel 2.6** Koefisien Absorpsi Beberapa Material (Doelle, 1993)

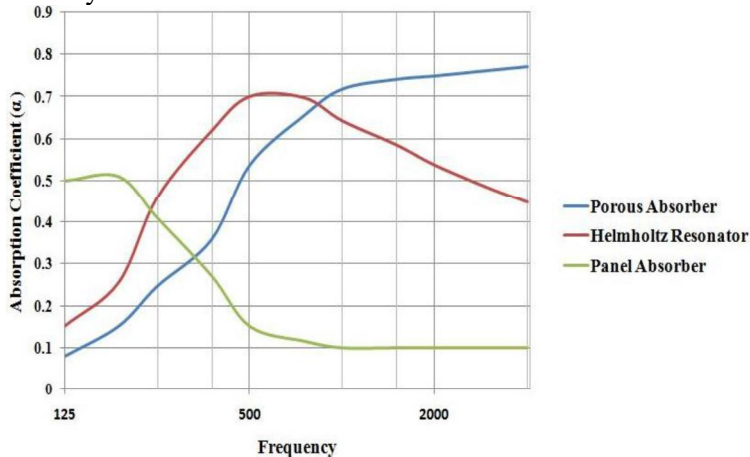
Material	Frekuensi (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Gypsum board (13mm)</b>	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
<b>Kayu</b>	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
<b>Gelas</b>	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
<b>Beton</b>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
<b>Bata</b>	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
<b>Steel deck</b>	0,58	0,64	0,71	0,63	0,47	0,40

Ada dua tipe utama bahan penyerap suara yaitu bahan penyerap suara berpori (Porous Absorber) dan penyerap suara tipe resonansi (Resonant Absorber). Tipe penyerap suara ini ditunjukkan pada Gambar 2.20. Bahan berpori seperti karpet, korden, foam, glasswool, rockwool, cellulose fiber, dan material lunak lainnya menyerap energi suara melalui energi gesekan yang terjadi antara komponen kecepatan gelombang suara dengan permukaan materialnya. Bahan penyerap suara tipe ini akan menyerap energi suara lebih besar di frekuensi tinggi.

Bahan penyerap suara tipe resonansi seperti panel kayu tipis, menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran yang kemudian diubah menjadi energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya (misal oleh udara atau material berpori). Ini berarti material tipe ini lebih sensitif terhadap komponen tekanan dari gelombang suara yang datang, sehingga lebih efektif apabila ditempatkan di dinding.



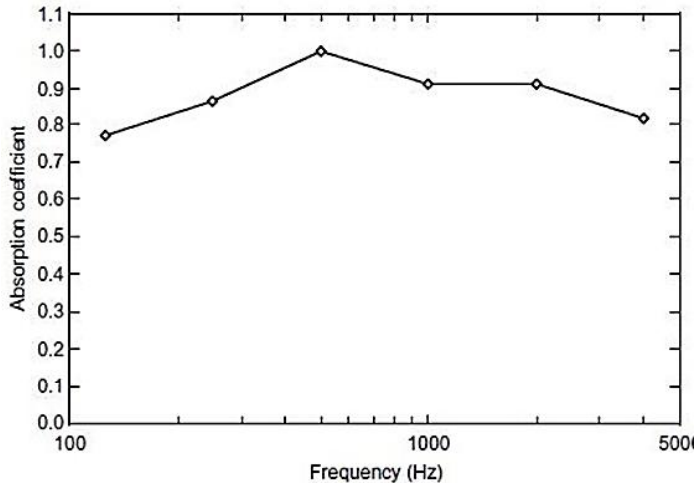
Bahan penyerap tipe ini lebih dominan menyerap energi suara berfrekuensi rendah. Frekuensi resonansi bahan ini ditentukan oleh kerapatan massa dari panel dan kedalaman (tebal) rongga udara dibaliknya.



**Gambar 2.20** Tipe Penyerapan Suara (Howard, 2009)

Tipe lain dari bahan penyerap suara ini adalah Resonator Helmholtz. Efektifitas bahan penyerap suara tipe ini ditentukan oleh adanya udara yang terperangkap di pipa atau leher diatas bidang berisi udara. Permukaan berlubang menjadi ciri utama resonator yang bekerja pada frekuensi tertentu, tergantung pada ukuran lubang, leher dan volume ruang udaranya.

Apabila diinginkan sebuah material yang memiliki frekuensi kerja yang lebar (rendah, menengah, dan tinggi), maka harus digunakan gabungan ketiga bahan penyerap suara tersebut. Kombinasi antara proses gesekan dari komponen kecepatan gelombang suara dan resonansi dari komponen tekanan gelombang suara akan membuat kinerja penyerapan energi suara oleh material besar untuk seluruh daerah frekuensi. Kurva tipe Wideband ditunjukkan pada Gambar 2.21.



**Gambar 2.21** Zona Frekuensi Tipe Wideband (Howard, 2009)

Material penyerap pada umumnya berpori (porous) dan berserat (fibrous). Besarnya penyerapan bunyi ketika gelombang bunyi menumbuk material penyerap dinyatakan dengan koefisien absorbs ( $\alpha$ ). Kemampuan suatu material dalam menyerap bunyi sangat bervariasi. Selain itu kemampuan tersebut juga bergantung pada struktur dan massa jenis material.

Kualitas dari bahan penyerap suara ditunjukkan dengan harga  $\alpha$  (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi). Semakin besar nilai  $\alpha$  maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai  $\alpha$  berkisar dari 0 sampai 1. Jika  $\alpha$  bernilai 0, artinya tidak ada bunyi yang diserap. Sedangkan jika  $\alpha$  bernilai 1, artinya 100% bunyi yang datang diserap oleh bahan (Khuriati, 2006)

## 2.10 Penelitian Terdahulu

Telah banyak penelitian mengenai pengaplikasian komposit dengan menggunakan serat alam sebagai material penyerap suara. Untuk mendapatkan sifat mekanik komposit yang baik, pada serat biasanya diberikan alkali treatment dengan cara



direndam dengan larutan basa dengan waktu tertentu. Eriningsih (2009) mendapatkan hasil bahwa dengan perendaman serat rami akan mengakibatkan penurunan nilai  $\alpha$  akan tetapi meningkatkan sifat mekanik. Hal ini disebabkan karena dengan proses alkali akan menghilangkan kandungan gum pada serat yang terdiri dari lignin dan pektin, sehingga akan mengurangi jumlah void yang dihasilkan pada komposit, Besarnya fraksi void akan mempengaruhi sifat porositas, semakin tinggi fraksi void, maka akan menaikkan nilai  $\alpha$ . Maryanti, dkk (2011) mendapatkan hasil bahwa konsentrasi larutan alkali untuk mendapatkan hasil sifat mekanik yang maksimal pada komposit polyester/serat kelapa adalah sebesar 5%.

Komposit polyester berpenguat bambu-rami dengan aspek rasio 90, nilai  $\alpha$  serat rami mencapai 0.836 pada frekuensi 125 Hz. Serat bambu mencapai nilai  $\alpha$  0.972 pada frekuensi 1000Hz. Terdapat kenaikan secara signifikan nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 125 Hz untuk material poliester berpenguat serat rami dan pada frekwensi menengah 1000 Hz untuk material poliester berpenguat serat bambu. (Farid dan Hosta, 2015). Nilai  $\alpha$  komposit polyester berpenguat rami pada frekuensi 1255 Hz mencapai 0.835 (Farid dan Tri, 2013).

Menurut Hosta dan Deni (2015), *silicone rubber* telah berhasil dicuring menggunakan *curing catalyst* komersial Bluesil dan Benzoil Peroksida, Kekuatan tarik meningkat seiring penambahan curing catalyst 2-6%wt tetapi menurun jika penambahannya diteruskan hingga 10%wt. Kekuatan tekan karet silikon dengan penambahan curing agent (karet silikon - Benzoil peroksida) meningkat seiring penambahan komposisi. Morfologi karet silikon-benzoil peroksida berbentuk *polyghonal pores (not connected pores)*. *Silicone rubber* dengan katalis bluesil 60R sebanyak 6%wt memiliki stabilitas termal yang sangat baik yaitu 466°C ( $T_{d5\%}$ ) dibandingkan dengan *silicone rubber* dengan katalis bluesil 60R sebanyak 10%wt dimana hanya memiliki stabilitas termal yang lebih rendah yaitu 450°C ( $T_{d5\%}$ ).

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Menurut Farid dan Afira (2016), ukuran *filler* menyebabkan perubahan jumlah dan bentuk pori pada *silicone rubber*. Ukuran *filler* menyebabkan rata-rata nilai turun. Nilai  $\alpha$  tertinggi pada frekuensi 4000 Hz ada pada *silicone rubber* poros murni, yaitu sebesar 0,431. Penambahan fraksi berat merubah bentuk dan jumlah pori, pori teratur dengan jumlah besar ada pada *silicone rubber* poros murni. Semakin besar fraksi berat mikro selulosa menyebabkan penurunan nilai koefisien absorpsi suara. Sedangkan penambahan *filler* nano selulosa akan menyebabkan penurunan nilai  $\alpha$  pada fraksi 2 dan 4% akan tetapi mencapai nilai  $\alpha$  tertinggi pada 6% berat dengan nilai  $\alpha$  pada frekuensi 4000 Hz sebesar 0,425.

Menurut Farid dan Jonathan (2016), Ukuran *filler* menyebabkan perubahan morfologi pada komposit. Komposit berpenguat *microcellulose* mengalami pemecahan pori secara tidak merata dan komposit berpenguat *nanocellulose* mengalami penambahan pori. Selain itu, Saba, (2016) mendapatkan sifat mekanik yang baik untuk komposit epoksi berpenguat *nano filler* dari serat kelapa sawit pada penambahan *nano filler* sebanyak 3%. Sifat mekanik yang didapat antara lain kekuatan tarik, elongasi, dan modulus elastisitas. Pada pengujian, diperoleh kekuatan tarik sebesar 29 MPa, elongasi 1,4%, dan modulus elastisitas sebesar 1,25 GPa.

Berdasarkan penelitian terdahulu, masih dibutuhkan bahan akustik yang lebih baik lagi sifatnya, terutama pada koefisien absorpsi dan stabilitas termal. Dibanding dengan serat kelapa, serat kelapa sawit memiliki kadar *cellulose* yang lebih banyak. Kadar *cellulose* akan menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik pada komposit.

Selain itu, *cellulose* juga mempengaruhi interface yang ada dengan matriks. Matriks yang dipilih adalah matriks yang berpori. Matriks berpori sangat baik digunakan sebagai bahan penyerap suara. *Cellulose* akan menyebabkan interface yang baik dengan meningkatkan jumlah pori yang ada. Sehingga, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis komposit *silicone rubber* berpenguat





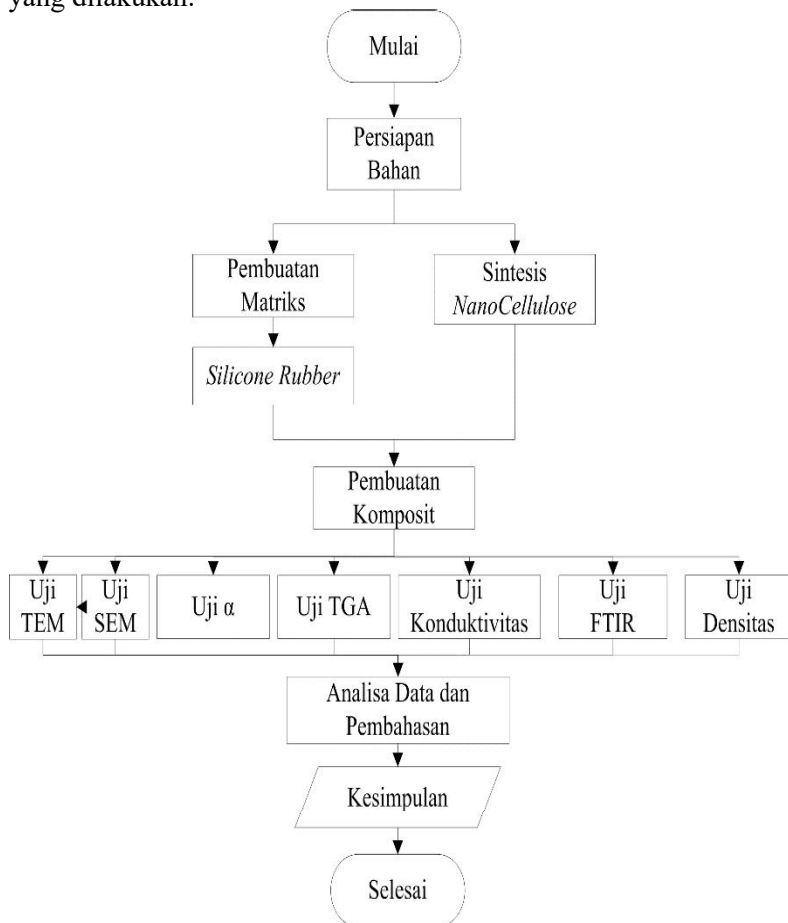
*nanocellulose* dari STKKS untuk kemudian dilakukan analisa pengaruh penambahan massa *cellulose* terhadap morfologi, nilai koefisien absorpsi suara, dan stabilitas termal serta konduktivitas termal.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

#### 3.1.1 Diagram Alir Pembuatan Komposit

Gambar 3.1 berikut menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan.

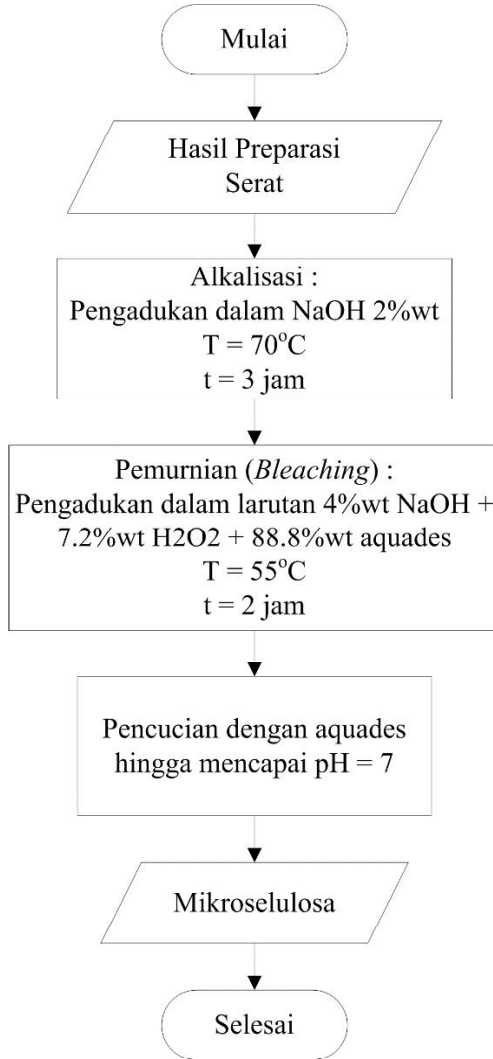


**Gambar 3.1** Diagram Alir Pembuatan Komposit



### 3.1.2 Diagram Alir Pembuatan *Filler* Mikro Selulosa

Gambar 3.2 menunjukkan diagram alir pada proses sintesis mikro selulosa dari serat TKKS.

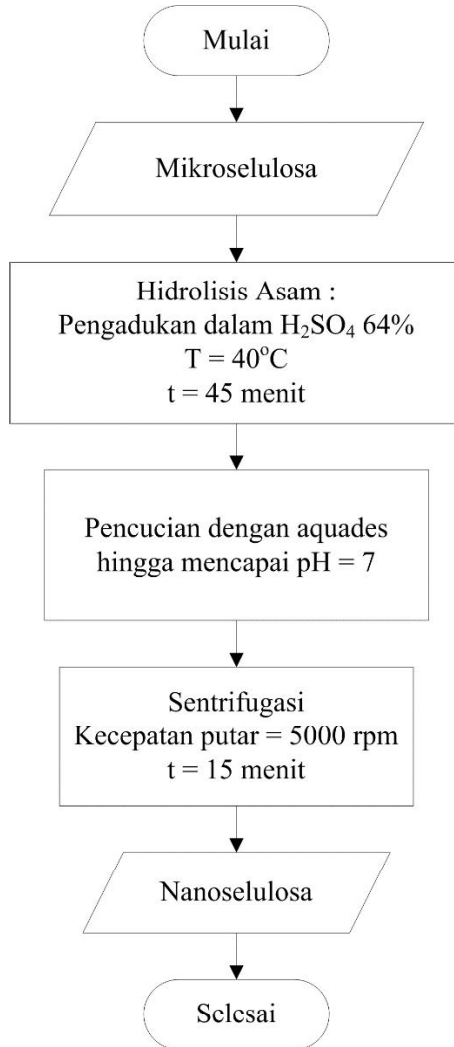


**Gambar 3.2** Diagram Alir Pembuatan Serat Mikro Selulosa



### 3.1.3 Diagram Alir Pembuatan *Filler* Nano Selulosa

Gambar 3.3 berikut menunjukkan diagram alir proses sintesis nano selulosa dari serat TKKS.

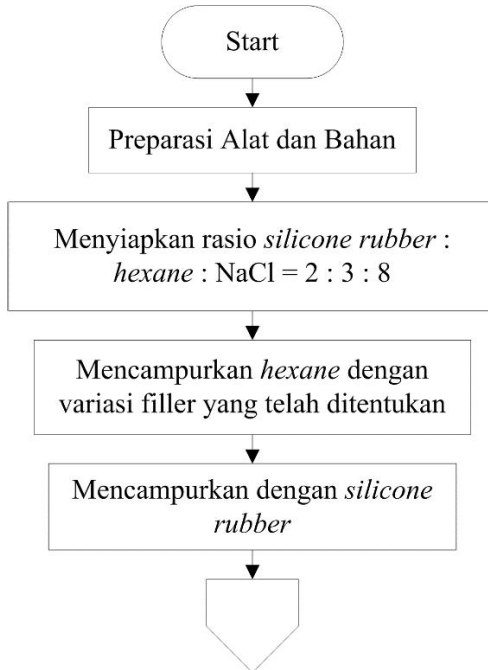


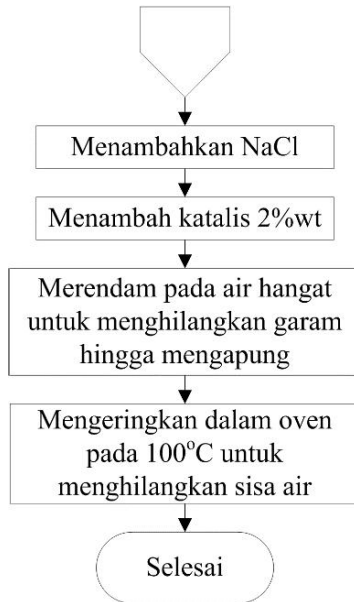
**Gambar 3.3** Diagram Alir Pembuatan Serat Nano Selulosa



### 3.1.4 Diagram Alir Pembuatan Komposit *Silicone Rubber* Berporos

Gambar 3.4 adalah diagram alir dalam pembuatan komposit *Silicone Rubber* berporos





**Gambar 3.4** Diagram Alir Pembuatan Komposit Silicone Rubber

### 3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

#### 3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini diantaranya adalah Serat TKKS, Aquades, Silicone Rubber RTV 585, Katalis, NaCl, Heksana, NaOH,  $H_2O_2$ , dan  $H_2SO_4$  yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 sampai dengan 3.13.



1. Serat tandan kosong kelapa sawit



**Gambar 3.5** Serat TKKS

2. *Aquades*



**Gambar 3.6** Aquades

3. *Silicone rubber* RTV 585



**Gambar 3.7** Silicone Rubber RTV 585

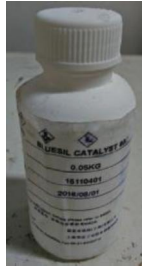
---

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**



---

4. Katalis



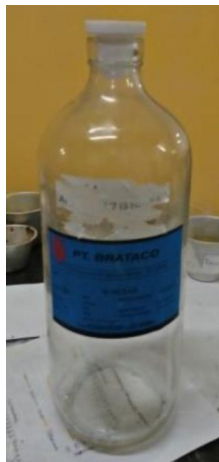
**Gambar 3.8** Katalis Bluesil

5. NaCl



**Gambar 3.9** NaCl

6. Heksana



**Gambar 3.10** *Hexane*





---

7. NaOH



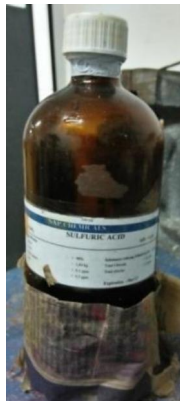
**Gambar 3.11 NaOH**

8.  $\text{H}_2\text{O}_2$



**Gambar 3.12  $\text{H}_2\text{O}_2$**

9.  $\text{H}_2\text{SO}_4$



**Gambar 3.13  $\text{H}_2\text{SO}_4$**



---

### **3.2.2 Peralatan Penelitian**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Cetakan  
Cetakan digunakan untuk mencetak spesimen uji
2. Timbangan digital  
Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan yang akan digunakan
3. Penggaris  
Penggaris digunakan untuk mengukur dimensi specimen
4. *Cutter*  
*Cutter* digunakan untuk melepaskan specimen dari cetakan
5. Gelas Beker  
Digunakan untuk mencampurkan larutan
6. Spatula  
Digunakan untuk mengaduk larutan
7. Kertas pH  
Digunakan untuk mengukur pH larutan
8. Oven  
Oven digunakan untuk mengeringkan serat. Oven yang digunakan milik Laboratorium Inovasi Material di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
9. Blender  
Blender digunakan untuk mengecilkan serat.



Gambar 3.14 Blender



10. Mesin *sieving*

Mesin *sieving* yang digunakan bermerek Fritsch Analysette milik Laboratorium Fisika Material milik Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS seperti pada Gambar 3.15.



**Gambar 3.15** Alat *Sieving*

11. *Hot plate* dan *magnetic stirrer*

*Hot plate* dan *magnetic stirrer* yang digunakan milik Laboratorium Inovasi Material milik Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

12. *Centrifuge*

*Centrifuge* yang digunakan milik Laboratorium Limbah Padat dan B3 di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS seperti pada Gambar 3.16.



**Gambar 3.16** Alat *Centrifuge*



13. Alat Uji Absorpsi Suara

Alat uji Absorpsi suara milik Laboratorium Akustik Material di Jurusan Teknik Fisika FTI ITS seperti pada Gambar 3.17.



**Gambar 3.17** Alat Uji Absorpsi Suara

14. Alat Uji SEM

Alat SEM yang digunakan milik laboratorium di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.18.



**Gambar 3.18** Alat Uji SEM



15. Alat Coating SEM

Alat coating SEM yang digunakan seperti Gambar 3.19, milik Divisi Karakterisasi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS



**Gambar 3.19** Alat Coating SEM

16. Alat Uji TEM

Alat uji TEM yang digunakan milik gedung Departemen Kimia UGM untuk mengetahui nanoselulosa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.20.



**Gambar 3.20** Alat Uji TEM



---

17. Alat Uji Konduktivitas Termal

Alat uji Konduktivitas Termal yang digunakan milik gedung laboratorium MRC di departemen mesin FTI UI seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.21.



**Gambar 3.21** Alat Uji Konduktivitas Termal

### **3.3 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbandingan ukuran dari filler yang digunakan yaitu nano serta fraksi massa masing-masing ukuran dengan komposisi sebesar 6 dan 8%.

### **3.4 Metode Penelitian**

#### **3.4.1 Persiapan Bahan**

Untuk dapat melaksanakan pengujian, terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan. Persiapan bahan ini sangat penting untuk dilakukan karena dapat mempengaruhi hasil pengujian dan dapat mempengaruhi hasil dari analisa dan pembahasan.

##### **3.4.1.1 Pengolahan Serat Tanda Kosong Kelapa Sawit**

1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dijemur selama  $\pm 2$  hari.
2. Serat dari TKKS diambil dan dibersihkan dari pengotor dengan air bersih.



3. Serat dikeringkan dalam oven pada temperatur 60°C selama 12 jam.
4. Melakukan *mechanical crushing* dengan mesin pencacah organik.
5. Serat di-*meshing* untuk mendapatkan ukuran yang homogen dari 112 – 280 mikron.
6. Melakukan alkalisasi pada serat TKS dengan NaOH 2%wt selama 3 jam pada temperature 70°C menggunakan *magnetic stirrer*.
7. Melakukan *bleaching* dalam larutan yang mengandung NaOH 4%wt dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 7.2%wt selama 2 jam pada 55°C.
8. Kemudian mencuci hasil rendaman dengan air sampai pH netral.
9. Hasil filler ini kemudian disebut mikro selulosa.
10. Serat dihidrolisis asam menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 64% pada temperature 40°C dengan pengadukan manual selama 45 menit.
11. Proses hidrolisis dilakukan dengan metode *water bath*
12. Melarutkan air sebanyak 10 kali dari jumlah H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
13. Melakukan pencucian dengan air sampai pH mencapai netral.
14. Melakukan *centrifuge* pada 5000 rpm selama 15-20 menit.
15. Hasil pencucian dikeringkan pada 55°C
16. Nanoselulosa ditimbang sesuai perhitungan.

#### 3.4.1.2 Pembuatan Matriks *Silicone Rubber* Berporos

1. Mencampurkan silicone rubber, hexane dan NaCl sesuai rasio yang ditentukan.
2. Menambahkan katalis sebanyak 2%
3. Melakukan pengadukan
4. Memanaskan pada 30°C selama 1 jam untuk menguapkan hexane.
5. Membiarkan hingga *curing*.

---

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN



6. Merendam hasilnya pada air hangat hingga dapat mengapung.
7. Melakukan *drying* pada 110°C untuk menghilangkan sisa air.

#### 3.4.1.3 Pembuatan Cetakan

1. Untuk uji konduktivitas termal terbuat dari galvalum dengan diameter 50 mm dan tinggi 15 mm.
2. Untuk uji koefisien absorpsi suara terbuat dari pipa galvalum dengan diameter 115 mm dan tinggi 15 mm

#### 3.4.1.4 Pembuatan Komposit

1. Pembuatan specimen dilakukan dengan menimbang massa *silicone ruber*, heksana, dan NaCl sesuai rasio yang telah ditentukan.
2. Setelah itu menimbang massa serat sesuai dengan fraksi yang ditentukan.
3. Serat yang telah ditimbang lalu dimasukkan ke dalam campuran silicone rubber, hexane, dan NaCl sesuai rasio yang telah ditentukan, kemudian diaduk hingga homogen.
4. Menambahkan katalis sebanyak 2%
5. Memanaskan pada 30°C selama 1 jam untuk menguapkan heksana.
6. Membiarkan hingga *curing*.
7. Merendam hasilnya pada air hangat untuk melarutkan garam, hingga dapat mengapung.
8. Melakukan *drying* pada 110°C untuk menghilangkan sisa air.
9. Spesimen dikeluarkan dari cetakan
10. Spesimen disesuaikan dimensinya dengan standar pengujian.





### **3.4.2 Proses Pengujian**

#### **3.4.2.1 Pengujian TEM**

TEM memiliki fungsi untuk analisis morfologi, struktur kristal, dan komposisi spesimen. TEM menyediakan resolusi lebih tinggi dibandingkan SEM, dan dapat memudahkan analisis ukuran atom (dalam jangkauan nanometer) menggunakan energi berkas electron sekitar 60 sampai 350 keV. TEM cocok untuk menjadi teknik pencitraan material padat pada resolusi atomik. Informasi struktural diperoleh dengan pencitraan resolusi tinggi dan difraksi elektron. Ketika elektron ditumbukkan pada sebuah permukaan material, dari permukaan tersebut akan dipancarkan elektron. Dari pancaran elektron ini bisa diketahui bentuk permukaan zat tersebut, itu merupakan asas kerja dari mikroskop elektron TEM yang banyak dipakai secara luas pada pengembangan material, kedokteran, bioteknologi dan sebagainya.

Untuk pengujian TEM spesimen diambil dari hasil hidrolisis yang ditunjukkan seperti Gambar 3.22 untuk melihat ukuran dan penyebaran yang terjadi.

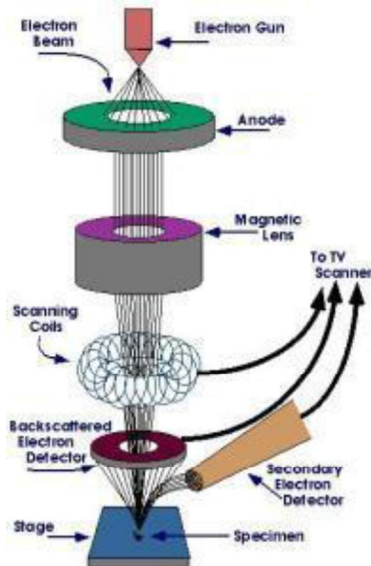


**Gambar 3.22** Spesimen Uji TEM



### 3.4.2.2 Pengujian SEM

*Scanning Electron Microscope* adalah jenis mikroskop elektron yang memanfaatkan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola raster scan sehingga dapat menampilkan gambar morfologi sampel. Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display. Skema prinsip kerja SEM ditunjukkan pada Gambar 3.23.



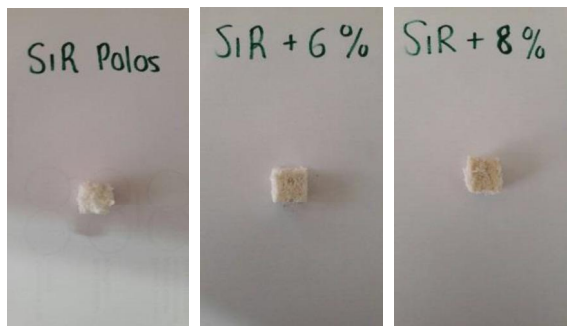
**Gambar 3.23** Prinsip Kerja SEM (Jinping, 2000)

Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Standar yang digunakan adalah ASTM E986. Spesimen uji seperti ditunjukkan pada Gambar 3.24. Mesin SEM yang digunakan adalah Inspect S50. Sampel yang digunakan berupa lembaran yang dilengketkan pada *holder* dengan menggunakan selotip karbon *double tape*. Kemudian dimasukkan ke dalam alat pelapis *autofine-coater* JFC-1100 untuk melapisi sampel dengan lapisan tipis Au-Pd (80:20). Lalu, sampel dimasukkan dalam *specimen chamber* pada alat SEM. Perbesaran yang digunakan adalah 50-1000 kali.



**Gambar 3.24** Spesimen Uji SEM

#### 3.4.2.3 Pengukuran %Porositas dengan *Software ImageJ*

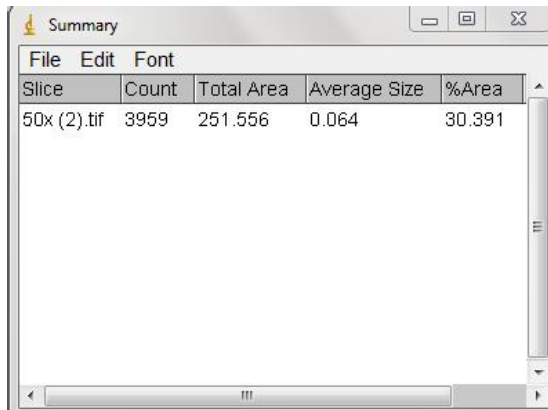
*Software* ImageJ merupakan *software* yang dapat digunakan untuk mengetahui persebaran ukuran poros yang direpresentasikan dalam bentuk %area melalui gambar hasil pengujian morfologi suatu material yang diolah. Selain dapat memperoleh %area, *software* ini dapat dipakai untuk melakukan estimasi penskalaan pada gambar hasil uji morfologi.

Untuk menggunakan *software* ini, pertama buka gambar hasil uji morfologi yang ingin dihitung %area porinya. Atur penskalaan pada gambar dengan menarik garis untuk membuat skala, memilih menu *analyze* kemudian *set scale* dan tentukan unit yang diinginkan. Kemudian *crop* gambar pada area berporos yang akan dianalisis. Lalu mengubah gambar ke dalam resolusi 8 bit dengan cara memilih menu *image* kemudian *type*, pilih 8 bit.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Setelah itu, untuk mengidentifikasi poros, edit gambar ke dalam *threshold* dengan memilih menu *image* kemudian *adjust* sehingga dapat menentukan area gelap terang dimana area gelap adalah daerah yang dianggap berporos. Setelah melakukan apply pada hasil edit, langkah terakhir adalah melakukan analisis untuk mendapatkan %porositas yaitu dengan cara memilih menu *analyze* lalu memilih *analyze particles*. Pastikan *results*, *summarize*, *include holes* dan *excude edges* tercentang. Kemudian pilih *OK*. Maka akan muncul kotak dialog seperti Gambar 3.25 dan terdapat kolom %area inilah yang disebut sebagai %porositas.



Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area
50x (2).tif	3959	251.556	0.064	30.391

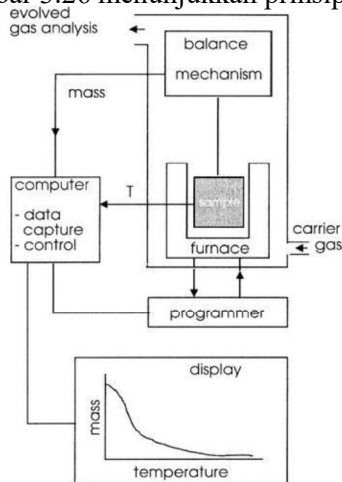
**Gambar 3.25** Kotak Dialog Hasil Analisis %Porositas dengan *Software* ImageJ

#### 3.4.2.4 Pengujian TGA

*Thermogravimetric Analysis* (TGA) adalah alat pengukuran perubahan massa yang terjadi akibat dari perubahan temperatur. Standar yang digunakan adalah ASTM E1131 Untuk ukuran spesimen uji disesuaikan. Biasanya hanya dibutuhkan 10-15 mg untuk pengujian per spesimennya. TGA dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan massa sample (*weight loss*) dan *thermal stability* ( $T_{d5\%}$  dan  $T_{d10\%}$ ) dari suatu bahan. Analisa



tersebut bergantung pada tiga pengukuran yaitu berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Analisa termal gravimetri merupakan metode analisis yang menunjukkan sejumlah urutan dari lengkungan thermal, kehilangan berat dari bahan setiap tahap, dan temperatur awal penurunan. Analisa termal gravimetric dilakukan untuk menentukan kandungan pengisi dan kestabilan termal dari suatu bahan. Gambar 3.26 menunjukkan prinsip kerja dari TGA,



**Gambar 3.26** Prinsip kerja TGA

#### 3.4.2.5 Konduktivitas Termal

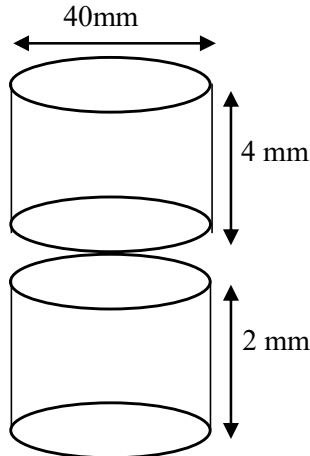
Pengukuran konduktivitas termal adalah untuk mengetahui peristiwa perpindahan panas secara konduksi dengan dimensi spesimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.27, sehingga dengan mengetahui besarnya konduktivitas termal dari suatu bahan (material) maka dapat diperkirakan aplikasi material tersebut untuk selanjutnya pengujian konduktivitas termal dari sampel dapat dukur dengan menggunakan standar ASTM C 177-97 yang memenuhi persamaan berikut

$$k = \frac{Lb}{Lb/Kb} \times \frac{La}{La/Ka} \quad (3.1)$$



dimana :

- $k$  = konduktivitas termal ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )  
 $L_a$  = ketebalan spesimen A (mm)  
 $L_b$  = ketebalan spesimen B (mm)  
 $k_a'$  = konduktivitas semu spesimen A ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )  
 $k_b'$  = konduktivitas semu spesimen B ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )



**Gambar 3.27** Dimensi Spesimen Konduktivitas Termal

Spesimen uji seperti ditunjukkan pada Gambar 3.29. Mesin Konduktivitas termal yang digunakan adalah Ogawa Seiki. Sampel yang digunakan berupa silinder pipih yang dilengketkan pada *holder* seperti Gambar 3.28.

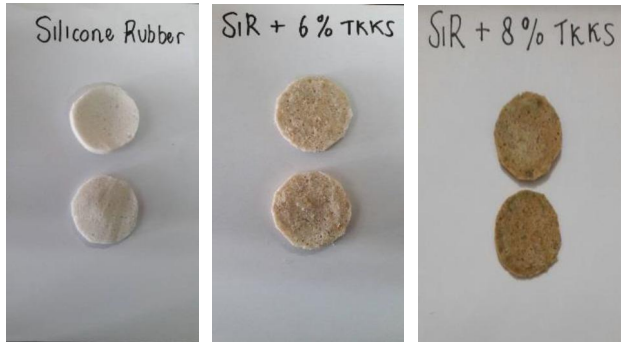


**Gambar 3.28** Holder Pengujian Konduktivitas Termal

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN



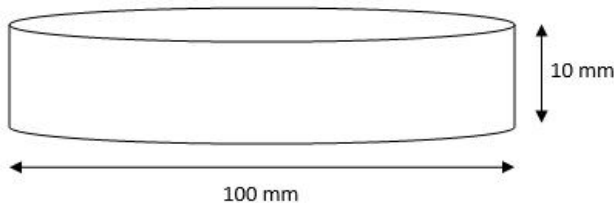
Kemudian di aliri panas sebesar 80°C, 100°C, dan 120°C dan melihat difusi termal yang terjadi sepanjang tembaga dengan kawat-kawat yang sudah ditempatkan di titik-titik tertentu.



**Gambar 3.29** Spesimen Uji Konduktivitas Termal

#### 3.4.2.6 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara

Peralatan yang digunakan untuk mengukur koefisien absorpsi suara adalah tabung impedansi dengan standarisasi menurut ASTM E1050. Pengujian dilakukan di Laboratorium Akustik Material, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS. Dimensi spesimennya berbentuk tabung dengan diameter 100 mm dan tinggi 10 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.30 berikut.



**Gambar 3.30** Dimensi Spesimen Uji Absorpsi Suara



Pengujian Absorpsi suara adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material untuk menyerap suara. Kualitas material penyerap suara ditentukan dari harga  $\alpha$  (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi). Semakin besar nilai  $\alpha$  maka semakin baik kemampuan material tersebut dalam menyerap suara. Nilai  $\alpha$  dari 0 sampai 1. Jika  $\alpha$  bernilai 0 maka tidak ada bunyi yang diserap oleh material tersebut sedangkan jika  $\alpha$  bernilai 1 maka 100 % bunyi yang datang diserap oleh material tersebut

Prinsip pengujian koefisien absorpsi suara adalah spesimen yang berbentuk lingkaran dimasukkan ke dalam bagian kepala tabung impedansi kemudian diatur frekuensi suara pada amplifier dengan frekuensi 125 – Hz maka speaker akan memberikan suara ke dalam tabung impedansi dan sound level meter.

Untuk pengujian absorpsi suara specimen dibuat dengan cetakan pipa galvalum dengan ukuran diameter 115 mm dan tebal 15 mm karena *Silicone Rubber* mengalami penyusutan seperti pada Gambar 3.31. Pada pipa tersebut dilapisi dengan Aluminium Foil agar tidak reaksi antara spesimen dengan cetakan. Kemudian spesimen dirapikan.



**Gambar 3.31** Spesimen Uji Absorpsi Suara





#### **3.4.2.7 Pengujian Densitas**

Pengujian dilakukan dengan perhitungan massa spesimen dalam udara dan dalam air masing-masing spesimen komposit menggunakan standar pengujian ASTM D792 seperti pada Gambar 3.32.



**Gambar 3.32** Pengujian Densitas

#### **3.4.2.8 Pengujian FTIR**

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada kelapa sawit. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pertama kali karena untuk mengetahui ikatan dari serat kelapa sawit serta untuk mengkonfirmasi apakah bahan yang dipakai telah sesuai.

Cara kerja mesin FTIR secara umum adalah mula-mula zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati chopper. Setelah melalui prisma atau grating, berkas akan jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian

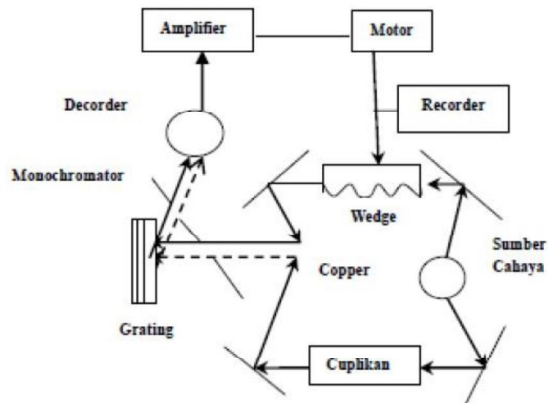
---

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**



direkam oleh rekorder. Selanjutnya diperlukan amplifier bila sinyal yang dihasilkan sangat lemah seperti yang dijelaskan Gambar 3.33.

Standar yang digunakan adalah ASTM E1252. Sampel, yang dapat dengan mudah diuji oleh FTIR, termasuk pelet polimer, bagian, sampel buram, serat, bubuk, pelapis kawat, dan cairan. Scan inframerah yang khas dihasilkan di wilayah pertengahan inframerah dari spektrum cahaya. Daerah pertengahan inframerah adalah  $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$  wavenumbers, yang sama dengan panjang gelombang 2,5 sampai 25 mikron ( $10^{-3}\text{ mm}$ ).



**Gambar 3.33** Skema Uji FTIR (Jinping Zhou, 2000)



### 3.5 Rancangan Penelitian

Untuk pelaksanaan penelitian, Tabel 3.1 menunjukkan rancangan pada penelien ini

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

NO	SPESIMEN UJI	PENGUJIAN						
		SEM	TEM	TGA	FTIR	$\alpha$	Uji Densitas	k
1	Silicone Rubber Poros	✓		✓	✓	✓	✓	✓
2	TKKS Washed	✓			✓			
3	TKKS alkalisasi	✓			✓			
4	TKKS bleaching	✓			✓			
5	TKKS hidrolisis	✓	✓		✓			
6	SR. P/nano selulosa 6%	✓		✓	✓	✓	✓	✓
7	SR. P/nano selulosa 8%	✓		✓	✓	✓	✓	✓

SR = *Silicone Rubber* ; TKKS = Tandan Kosong Kelapa Sawit

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Konduktivitas Termal

Pengujian konduktivitas bertujuan untuk mengetahui hantaran panas yang dapat dialirkan pada material. Aliran panas dialirkan dengan cara konduksi dengan bantuan tembaga guna mencari konduktivitas termal dari bahan tersebut untuk aplikasi insulasi panas. Tabel 4.1 merupakan hasil pengujian konduktivitas termal pada *Silicone Rubber*, *Silicone Rubber/Nanoselulosa* 6%, dan *Silicone Rubber/Nanoselulosa* 8%.

**Tabel 4.1** Pengaruh Fraksi *filler* terhadap Nilai Konduktivitas Termal SR Berporos/Nanoselulosa

Sampel	Temp (°C)	K (W/m°C)	K rata-rata (W/m°C)
SR	80	0.19903461	0.21170
	100	0.18321566	
	120	0.25286438	
SR/NS 6%	80	0.1569982	0.20279
	100	0.1942142	
	120	0.2571493	
SR/NS 8%	80	0.18743605	0.19891
	100	0.20729595	
	120	0.20199444	

SR = *Silicone Rubber* ; NS = Nanoselulosa

Pada Tabel 4.1, didapatkan hasil konduktivitas termal *Silicone Rubber* sebesar 0.2117 W/m°C dimana sesuai dengan jurnal yang mengatakan bahwa konduktivitas termal *silicone rubber* adalah sekitar 0,2 W/(m-K) (Shin-Etsu's Silicone). SR/NS 8% memiliki konduktivitas termal yang paling rendah yaitu 0.19891 W/m°C dimana semakin baik dalam insulasi termal. Penambahan serat OPEFB ke dalam komposit mengurangi



konduktivitas termalnya dimana sesuai dengan pernyataan bahwa penurunan konduktivitas termal seiring dengan meningkatnya fraksi volume OPEFB pada komposit. Penurunan konduktivitas termal diamati dengan meningkatnya serat OPEFB, yang disebabkan oleh sifat isolasi serat alami. (Choh, 2016).

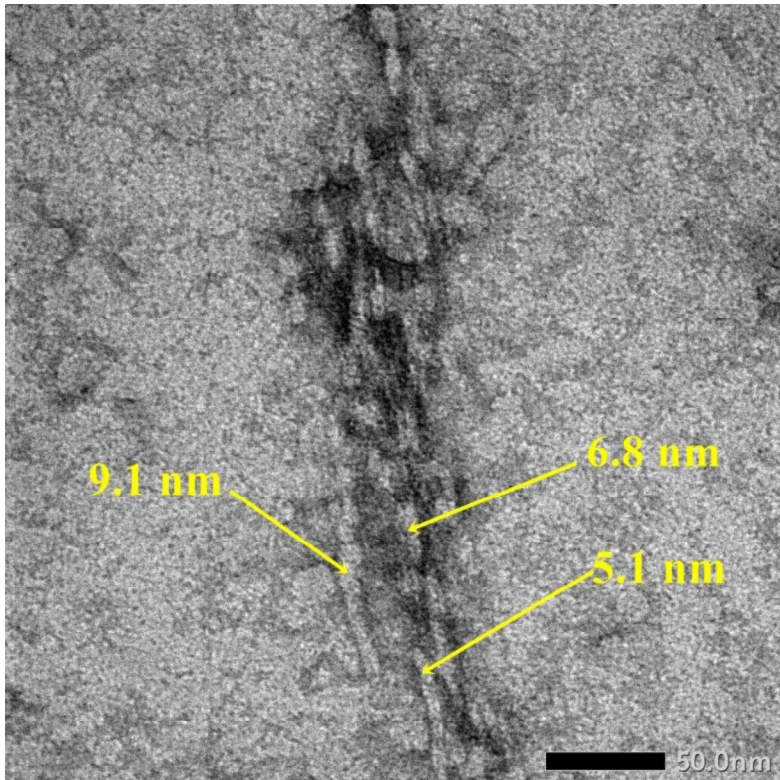
Serat alami memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah daripada polimer dan tidak mampu menyediakan jalur konduktif untuk energi panas dalam material komposit (Monteiro et al 2012). Selanjutnya, serat alami mengandung lumen, yang merupakan struktur silinder berongga yang meliputi rongga yang akan menghambat transportasi panas dalam komposit (John, 2012).

## **4.2 Analisis Morfologi**

Pengamatan morfologi dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM).

### **4.2.1 Transmission Electron Microscope (TEM)**

Morfologi dengan skala nanometer (nm) dari nanocellulose ditunjukkan pada Gambar 4.1. Gambar tersebut menunjukkan hasil TEM pada serat nanocellulose setelah proses hidrolisis asam.



**Gambar 4.1** TEM serat TKKS hasil hidrolisis dengan perbesaran 80000x

Gambar 4.1 menunjukkan hasil hidrolisis, terlihat bahwa terjadi penggumpalan. Struktur ini menunjukkan fiber mengalami pemecahan. Hal tersebut dikarenakan proses hidrolisis yang memecah fiber-fiber selulosa. Morfologi berubah dari mikro ke nano selama proses pemisahan. Masing-masing serat yang terdiri dari serat tunggal melekat bersama (G. Mondragon, 2014). Hal ini terjadi karena adanya gaya tarik menarik Van der Waals antar nanopartikel tersebut (Johari, 2014). Ukuran yang terlihat pada perbesaran 80000x sekitar 5.1 - 9.1 nm.

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**



---

## 4.2.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

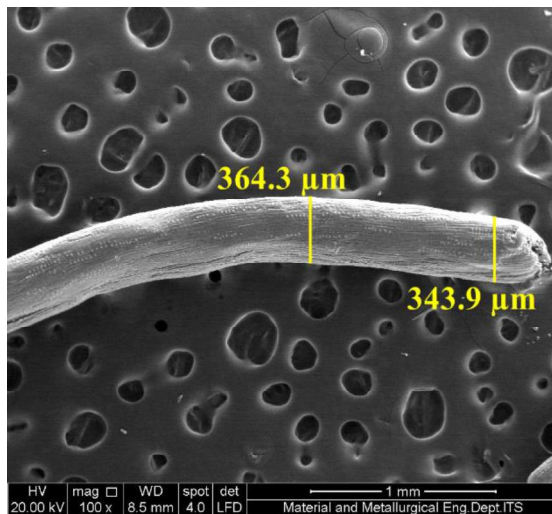
### 4.2.2.1 SEM Serat

Pengamatan morfologi juga dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar 4.2 menunjukkan hasil uji SEM pada TKKS murni dan Gambar 4.3 menunjukkan hasil uji SEM pada TKKS alkali, *bleaching*, dan hidrolisis.

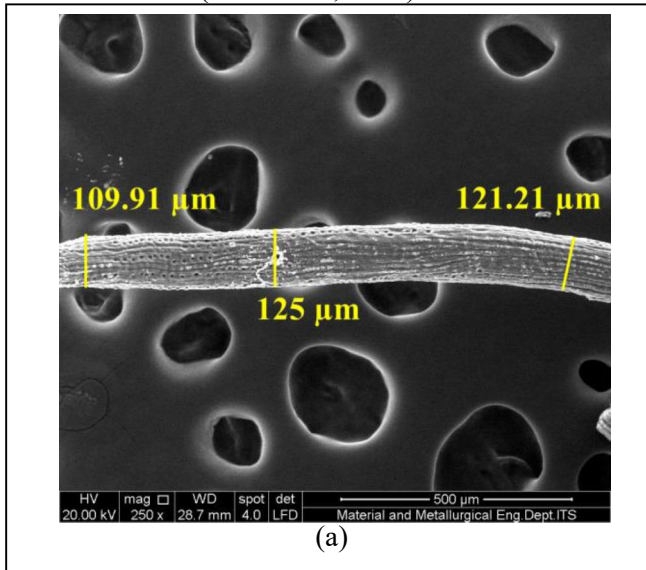
Berdasarkan Gambar 4.2 dan 4.3 terlihat bahwa ada perbedaan morfologi dari masing-masing perlakuan. Gambar 4.2 adalah TKKS yang hanya dicuci dengan air biasa (belum dikenai perlakuan kimia), menunjukkan serat yang masih kasar dengan ukuran diameter sekitar 343-364  $\mu\text{m}$  (Rahmasita, 2017). Morfologi yang kasar ini disebabkan oleh kandungan lapisan lilin, substansi lemak, dan pengotor (J. Rout, 2000).

Perbedaan terlihat pada Gambar 4.3 (a), yaitu TKKS yang telah diproses alkali dengan NaOH 2%. Terlihat bahwa permukaan menjadi lebih bersih dan kekasaran berkurang serta hampir tidak ada pengotor. Pada alkalisasi, lapisan lilin (lignin) pada permukaan menghilang karena interaksinya dengan sodium sehingga permukaan menjadi lebih halus (M.A. Norul Izani, 2012). Hal ini menyebabkan diameter berkurang, menjadi sekitar 109-125  $\mu\text{m}$ .

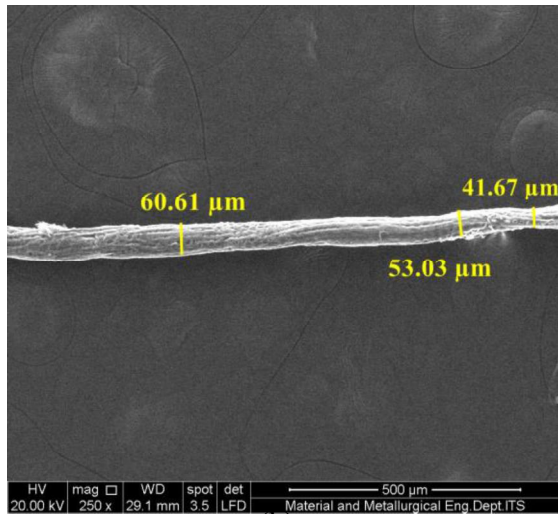
Gambar 4.3 (b) menunjukkan bahwa ukuran diameter semakin kecil menjadi sekitar 41-60  $\mu\text{m}$  dan permukaan semakin halus. Hal ini dikarenakan oleh *bleaching* dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan NaOH yang bertujuan untuk menghilangkan lignin sisa alkali. Setelah dilakukan *bleaching* pada TKKS, kemudian dilakukan hidrolisis dengan asam sulfat 64%.



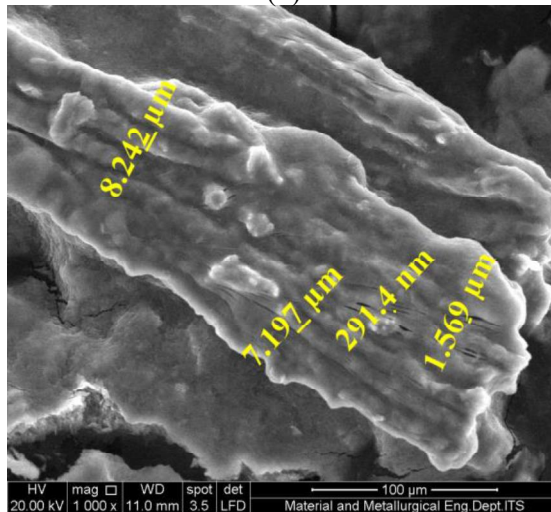
**Gambar 4.2** SEM Serat TTKS Murni Perbesaran 100x  
(Rahmasita, 2017)







(b)



(c)

**Gambar 4.3** SEM Serat TKKS (a) Alkali Perbesaran 250x, (b) Bleaching Perbesaran 250x, dan (c) Perbesaran 1000x Setelah Hidrolisis

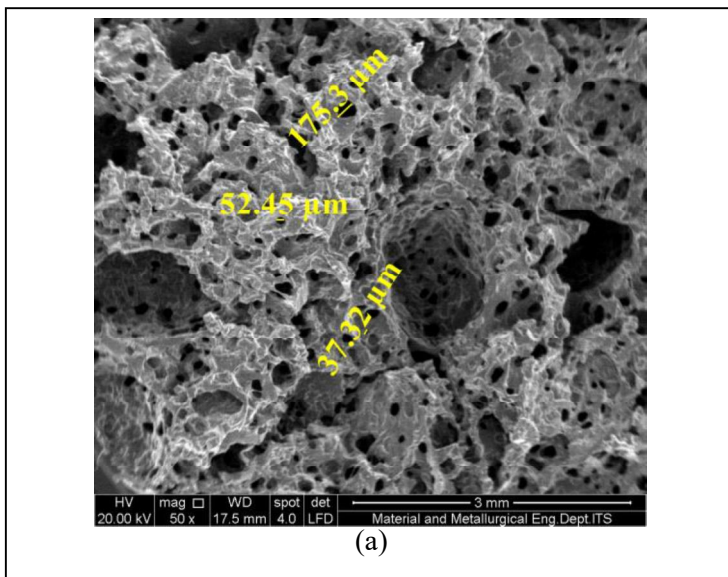
#### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

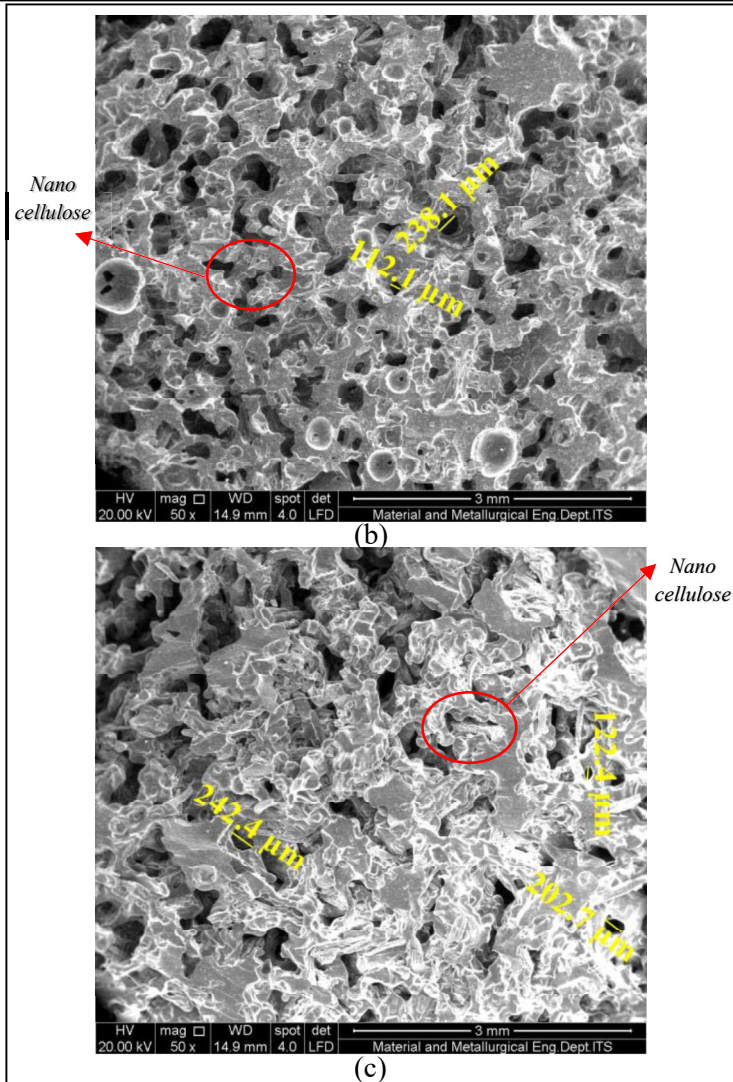


Gambar 4.3 (c) menunjukkan hasil hidrolisis menggunakan  $H_2SO_4$  64%, terlihat bahwa terjadi penggumpalan. Struktur ini menunjukkan fiber mengalami pemecahan. Hal tersebut dikarenakan proses hidrolisis yang memecah fiber-fiber selulosa. Morfologi berubah dari mikro ke nano selama proses pemisahan. Masing-masing serat yang terdiri dari serat tunggal melekat bersama (G. Mondragon, 2014). Ukuran yang terlihat pada pembesaran ini adalah sekitar 291.4 nm.

#### 4.2.2.2 SEM Komposit

Pengamatan poros juga dilakukan terhadap komposit untuk mengetahui morfologi dan diameter poros yang dibuat dari pengadukan NaCl sebagai *sacrificial filler*. Gambar 4.4 menunjukkan hasil uji SEM terhadap SR Berporos Murni, SR Berporos/Nanoselulosa 6%, dan SR Berporos/Nanoselulosa 8%.





**Gambar 4.4** Pengaruh fraksi *Filler* terhadap Morfologi Hasil SEM SR Berporos (a) SR Berporos Murni, (b) SR Berporos/Nano Selulosa 6%, dan (c) SR Berporos/Nano Selulosa 8%

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.4(a) menunjukkan hasil SEM dari *silicone rubber* berporos murni. Terlihat bahwa terbentuk poros yang teratur. Penambahan serat mengakibatkan ukuran poros tidak beraturan dan cenderung mengecil seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4(b) untuk komposit SR Berporos/Nano selulosa 6%. Hal ini dikarenakan penambahan serat menyebabkan poros terdeformasi (Chen, 2012) dan hal tersebut dikarenakan nano selulosa memiliki kemampuan untuk menambah poros dengan penyebaran yang merata (Svagan, 2009).

Gambar 4.4(c) merupakan hasil SEM SR Berporos/Nano selulosa 8%. Pada gambar tersebut terlihat bahwa poros tidaklah begitu merata seperti SR Berporos/Nano selulosa 6%.

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa jumlah poros yang terbentuk oleh masing-masing spesimen berbeda. Berdasarkan hasil perhitungan %porositas dengan *software ImageJ* didapat % porositas seperti pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Pengaruh Fraksi *Filler* Nano Selulosa terhadap Perbedaan % Porositas Hasil Uji SEM

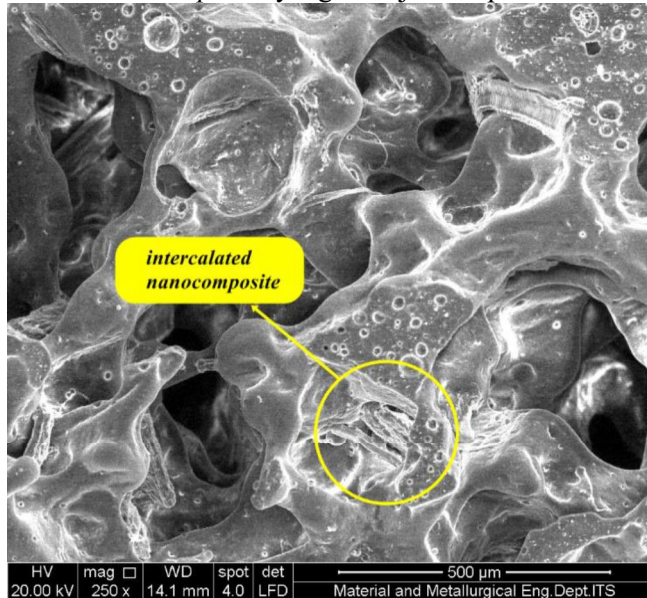
Spesimen	% Porositas
SR Berporos Murni	17.818
SR Berporos/NS 6%	27.366
SR Berporos/NS 8%	20.666

SR = *Silicone Rubber* ; NS = Nanoselulosa

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa poros terbanyak dihasilkan oleh SR Berporos/Nano selulosa 6% dengan 27,366%porositas, kemudian komposit SR Berporos/Nano selulosa 8% dengan 20,666% porositas dan poros terendah dihasilkan oleh SR Berporos murni dengan 17,818% porositas. Hal ini berkaitan dengan hasil Absorpsi suara dimana SR Berporos/Nano selulosa 6% memiliki tingkat absorpsi yang baik dikarenakan %porositas yang tinggi dibandingkan dengan SR Berporos murni maupun SR Berporos/Nano selulosa 8%. Dan



dapat dilihat bahwa komposit SR/Nanoselulosa memiliki jenis *intercalated nanocomposite* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5



**Gambar 4.5** *Intercalated Nanocomposite* pada SR/NS 6% dengan perbesaran 250x

### 4.3 Analisis Absorpsi Suara

Pengujian absorpsi suara dilakukan untuk mengetahui seberapa besar material *silicone rubber* dan komposit *silicone rubber* berpenguat nanoselulosa dapat menyerap suara yang datang, jika nilai  $\alpha$  semakin mendekati 1 maka sifat material dalam menyerap dan meredam bunyi semakin baik. Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian absorpsi suara pada komposit *silicone rubber* berpenguat nanoselulosa. Dapat dilihat bahwa nilai koefisien absorpsi suara terhadap frekuensi tiap spesimen berbeda-beda. Ini dikarenakan perbedaan komposisi yang menyebabkan perbedaan kerapatan ataupun ketidakhomogenan spesimen (Yusuf, 2016).

---

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



**Tabel 4.3** Pengaruh Fraksi *filler* terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara SR/Nano Selulosa

Frekuensi (Hz)	Fraksi Massa (%wt)				
	0	2 (Afira, 2017)	4 (Afira, 2017)	6	8
125	0.1970	0.1502	0,1750	0.1882	0.1689
250	0.1731	0.2838	0,2680	0.1894	0.2754
500	0.3737	0.2838	0,2520	0.3274	0.3385
1000	0.3837	0.3215	0,3520	0.3682	0.3595
2000	0.3804	0.3641	0,3950	0.4045	0.3917
4000	0.4243	0.4188	0,4250	0.4358	0.4278

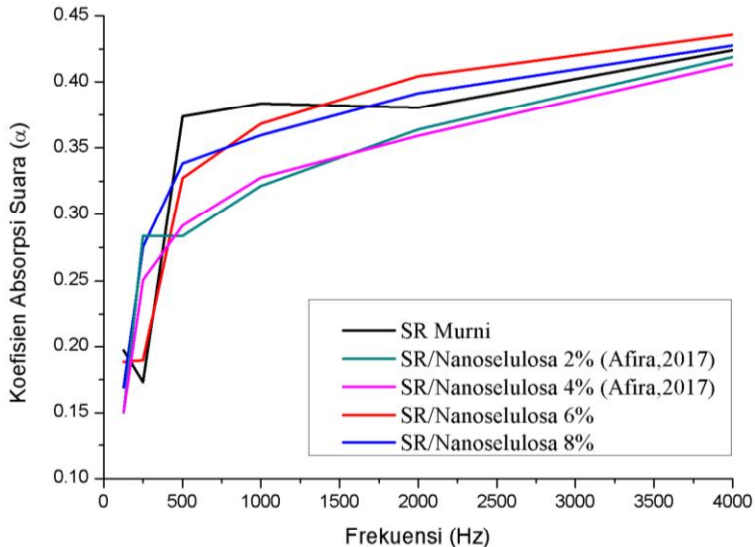
Gambar 4.6 menunjukkan karakteristik kemampuan penyerapan suara dari kelima spesimen. Perbedaan koefisien absorpsi suara terlihat berbeda di frekuensi rendah dan sedang, akan tetapi pada rentang frekuensi tinggi perbedaan koefisien penyerapan suaranya sangat kecil. Semakin naik frekuensi, secara umum menyebabkan semakin naiknya nilai absorpsi suara yang menandakan bahwa material tersebut merupakan *porous absorber* (Howard, 2009).

Pada Gambar 4.6 juga menunjukkan bahwa penambahan *filler* berupa nano selulosa menyebabkan semakin meningkatnya nilai koefisien absorpsi suara sampai dengan fraksi filler sebesar 6% dan mengalami penurunan pada fraksi filler sebesar 8% dikarenakan morfologi yang kurang teratur dan porositas 20.666%. SR Berporos/Nano selulosa memiliki koefisien absorpsi suara yang tertinggi disebabkan oleh bertambahnya poros yang dibentuk oleh nano selulosa. Nilai koefisien absorpsi suara dipengaruhi oleh densitas material tersebut. Semakin tinggi nilai densitasnya maka nilai koefisien absorpsi suara akan semakin rendah (Elvaswer, 2011). Dan jumlah poros mencapai nilai maksimal pada fraksi ini. Menurut Svagan (2009), nanoselulosa memiliki kemampuan untuk membuat poros secara merata. Dan dapat dilihat bahwa tren stabil didapatkan ketika SR murni ditambahkan dengan nanoselulosa





dimana trennya akan terus meningkat sesuai dengan tren *porous absorber*.



**Gambar 4.6** Pengaruh Fraksi *filler* terhadap Koefisien Absorpsi Suara SR Berporos/Nano Selulosa

Pada frekuensi rendah 125 Hz seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6, nilai koefisien absorpsi suara SR Berporos murni sebesar 0,197 dan komposit SR Berporos/Nano selulosa 6% dan 8% berturut-turut sebesar 0,1882 dan 0,1689. Dimana nilai koefisien absorpsi suara terbaik untuk frekuensi rendah 125 Hz adalah pada komposit SR Berporos murni yaitu sebesar 0,197 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.3. Hal ini dikarenakan penyerapan suara pada frekuensi rendah baik untuk material dengan kerapatan tinggi. Sehingga nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 125 Hz akan semakin tinggi pada spesimen dengan rapat massa yang semakin tinggi (sedikit poros).

Pada frekuensi tinggi 4000 Hz seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6, nilai koefisien absorpsi suara SR Berporos murni sebesar 0,4243 dan komposit SR Berporos/Nano selulosa 2%, 4%,

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



6% dan 8% berturut-turut sebesar 0.4188, 0.4250, 0.4358 dan 0.4278. Dimana nilai koefisien absorpsi suara terbaik adalah pada SR Berporos/Nano selulosa 6% yaitu sebesar 0,4358. Hal ini dikarenakan penyerapan suara pada frekuensi tinggi baik untuk material dengan kerapatan rendah (banyak poros). Sehingga nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 4000 Hz akan semakin baik pada spesimen dengan banyak poros yang teratur. Jika dilihat pada Gambar 4.4 (c) yaitu SEM Komposit SR Berporos/Nano selulosa 8%, poros yang terbentuk tidaklah begitu sebaik SR Berporos/Nano selulosa 6% sehingga hasil koefisien absorpsi suaranya lebih rendah.

Menurut Rolf Jebasinski (2002), *muffler* absorptif bekerja pada frekuensi di atas 2000Hz. Dan pada penelitian Mylaudy D. R (2015), menyatakan bahwa *muffler* absorptif dengan *glasswool* memiliki nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0,32. Sehingga bisa dikatakan bahwa SR Berporos murni maupun komposit SR berporos/Nano selulosa dapat menyaingi nilai koefisien absorpsi *glasswool* yang digunakan di *muffler*.

#### 4.4 Analisis Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan mengukur massa spesimen dalam udara dan dalam air dengan dimensi 1 x 1 x 1 cm. Tabel 4.4 menunjukkan nilai massa jenis komposit *Silicone Rubber* berporos berpenguat nanoselulosa dengan fraksi massa 6% dan 8%.

**Tabel 4.4** Pengaruh Fraksi *filler* Nano selulosa terhadap Nilai Densitas Komposit

Spesimen	Mk (gr)	Mb (gr)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
SR Berporos Murni	0.3655	0.3641	1.0038
SR Berporos/NS 6%	0.4803	0.4796	1.0014
SR Berporos/NS 8%	0.4829	0.4814	1.0031





Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian densitas dengan variasi fraksi filler nano selulosa. Dapat dilihat bahwa SR Berporos murni memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan SR Berporos/NS 6% maupun SR Berporos/NS 8%. Hal tersebut dikarenakan nano selulosa memiliki kemampuan dalam membuat poros (Svagan, 2009). Korelasi densitas dengan porositas berbanding terbalik. Porositas yang semakin kecil menyatakan struktur sampel lebih padat sehingga memiliki densitas yang lebih besar. (Luci, 2016) Densitas merupakan faktor penting untuk menentukan efisiensi akustik dalam tipe komposit yang sama; Dapat disimpulkan bahwa koefisien absorpsi suara meningkat dengan penurunan densitas dan sebaliknya. Dari juga dapat disimpulkan bahwa dalam jenis komposit yang sama dengan kenaikan void / porositas, penyerapan suara / koefisien reduksi kebisingan meningkat. (Anand, 2017)

*Silicone rubber* poros murni memiliki densitas lebih tinggi daripada komposit SR Berporos berpenguat nano selulosa. Ini dikarenakan penambahan *filler* berupa nano selulosa menyebabkan bertambahnya poros sehingga menjadikan nilai densitasnya rendah, seperti yang dikemukakan oleh Heath (2010) dan hal ini disebabkan oleh penambahan serat yang mendeformasi poros (Chen, 2012). Sehingga bertambahnya poros yang disebabkan oleh penambahan fraksi filler membuat poros semakin banyak dan densitas berkurang.

#### 4.5 Analisis Stabilitas Termal

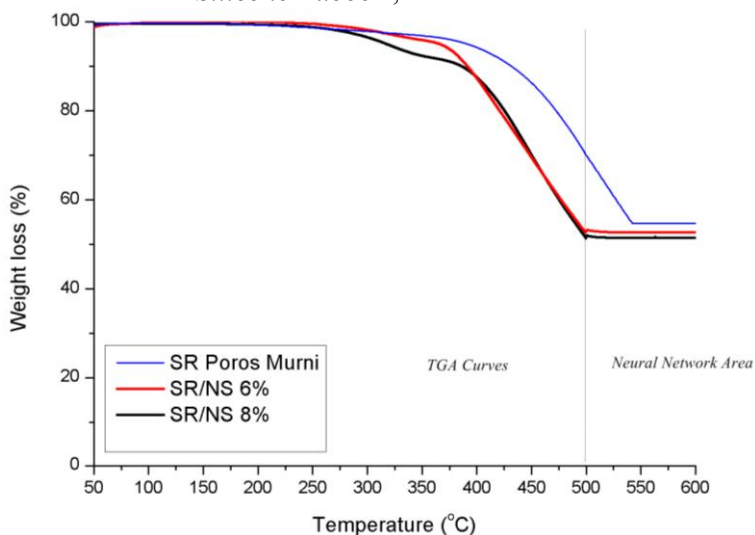
Pengujian Sifat Termal dilakukan dengan menguji spesimen komposit *silicone rubber* dengan *filler* nanoselulosa dengan menggunakan alat *Thermal Conductivity Ogawa Seiki*. Tabel 4.5 menunjukkan nilai stabilitas termal massa jenis komposit *Silicone Rubber* berporos berpenguat nano selulosa dengan fraksi massa 6% dan 8%.



**Tabel 4.5** Pengaruh Fraksi *filler* Nano selulosa terhadap Nilai Stabilitas Termal Komposit

Sample	Weight Loss %		
	T5% (°C)	T10% (°C)	T25% (°C)
SR	400	438	488
SR/NS 6%	375	395	438
SR/NS 8%	318	388	438

SR = *Silicone Rubber* ; NS = Nanoselulosa



**Gambar 4.7** Pengaruh fraksi *filler* Nanoselulosa terhadap Stabilitas Termal

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengujian stabilitas termal dengan variasi fraksi *filler* nanoselulosa. Dapat dilihat bahwa *Silicone Rubber* memiliki stabilitas termal yang sangat stabil hingga temperature 300-350 °C. *Silicone* banyak digunakan dengan aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap temperature tinggi. Selama proses thermogravimetry dan tanpa adanya pengotor, degradasi berat polydimethylsilxone ( $\text{CH}_3\text{-Si-O-CH}_3$ ) dimulai pada temperature 400°C (Andre, 2005).



Sedangkan komposit *Silicone Rubber* dengan *filler* nanoselulosa sebesar 8% mengalami dua step *weight loss* pada temperature 280°C – 350°C dan 400°C. Pengurangan massa diawali pada temperature sekitar 280°C sampai 350°C, yang disebabkan oleh dekomposisi dari *hemicellulose*, dan pengurangan massa kedua dimulai pada temperature 350°C sampai 400°C yang disebabkan oleh dekomposisi dari selulosa dan lignin. (Khalid, 2009). Step yang pertama dicurigai adalah degradasi *hemicellulose* pada temperature 250°C. Sedangkan, pada step kedua disebabkan oleh degradasi lignin dan selulosa pada temperature 380°C. (Jayamani, 2016).

Untuk senyawa dalam serat alami, dekomposisi hemiselulosa dan pektin terjadi dari sekitar 240 sampai 340°C, diikuti oleh degradasi selulosa dari sekitar 340 sampai 490°C (Monteiro et al 2012). Stabilitas thermal dapat terbukti dengan residu yang dapat diperoleh pada temperature 500°C yang ditunjukkan pada Tabel 4.6

**Tabel 4.6** Residu pada temperature 500°C (Hasil Pengujian)

Sample	Residue at 500°C (%)
SR	71.191
SR/NS 6%	53.717
SR/NS 8%	51.420

SR = *Silicone Rubber* ; NS = Nanoselulosa

Lalu dilakukan ekstrapolasi dengan software *MatLab* : *NeuralNetwork* dimana untuk mengetahui titik *Tmax* dengan menambahkan perpanjangan grafik sampai dengan temperature 600°C. Residu yang terbentuk pada saat temperature 600°C dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Residu pada temperature 600°C (*Software MatLab*)

Sample	Residue at 600°C (%)
SR	56.5659
SR/NS 6%	53,7180
SR/NS 8%	51.4264

SR = *Silicone Rubber* ; NS = Nanoselulosa

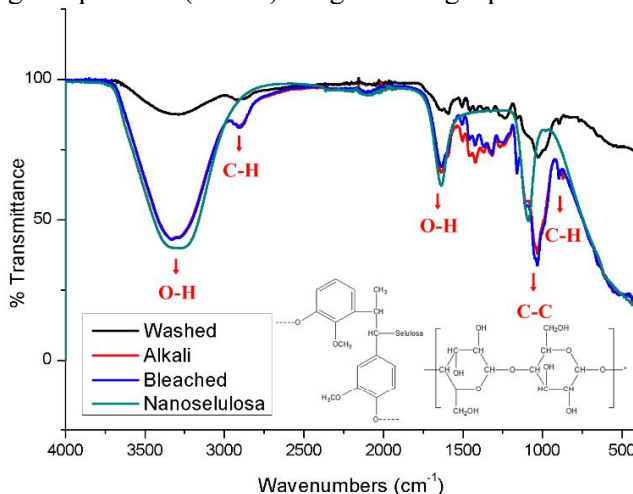
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



## 4.6 Analisis FTIR

### 4.6.1 Analisis FTIR pada Hasil Perlakuan Serat TKKS

Komponen utama dari serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah senyawa lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan berbagai perlakuan.



**Gambar 4.8** Hasil Uji FTIR TKKS dengan Berbagai Perlakuan (Axel, 2017)

Menurut Axel (2017) Hasil FTIR terbagi menjadi 4 perlakuan yang dilakukan pada TKKS, yaitu TKKS tanpa perlakuan (*washed*), TKKS yang dialkalisasi, TKKS yang di-*bleaching*, dan yang terakhir TKKS yang dihidrolisis. Pada Tabel 4.8 menunjukkan berbagai daerah serapan pada masing-masing serat.

Pada daerah serapan antara 3100-3600 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya ikatan O-H stretching. Kemudian pada peak sekitar 2900 cm<sup>-1</sup> menandakan adanya gugus C-H stretching. Pada peak sekitar 1590-1640 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya ikatan O-H bending yang disebabkan karena adanya penyerapan air oleh selulosa (Ireana, 2014).

Adanya lignin identik dengan munculnya ikatan C=C cincin aromatik pada daerah serapan sekitar 1200-1300 cm<sup>-1</sup>. Terlihat



bahwa ikatan tersebut tidak muncul pada alkalisasi, *bleaching*, maupun hidrolisis. Hal ini berarti sudah hilangnya kandungan lignin pada serat karena perlakuan dengan NaOH pada alkalisasi dan *bleaching* menghilangkan kandungan lignin (E. Abraham, 2011). Ikatan C-O yang mengalami peregangan didapat pada daerah serapan sekitar  $1161\text{ cm}^{-1}$ . Pada puncak sekitar  $1027\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan C-C yang mengalami peregangan. Puncak pada daerah serapan sekitar  $896\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan C-H deformasi. Ikatan C-H ini disebut ikatan  $\beta$ -glukosida dalam gula (Shanmugarajah, 2015). Pada perlakuan hidrolisis, terdapat empat daerah serapan yaitu  $3288.08\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan ikatan O-H stretching,  $1636.43\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan ikatan O-H bending,  $1089.92\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan ikatan C-C stretching.

**Tabel 4.8** Daerah Serapan IR Serat TKKS (Axel, 2017)

Daerah Serapan ( $\text{cm}^{-1}$ )				
Washed	Alkali	Bleached	Hidrolisis	Ikatan dan Gugus Fungsi
3289.17	3329.91	3327.67	3288.08	O-H stretching
2918.57	-	-	-	C-H stretching
1593.05	1636.99	1636.74	1636.43	O-H bending
1505.68	-	-	-	C=C stretching cincin aromatik
1455.69	-	-	-	C-H deformasi
1421.92	1421.14	1424.26	-	$\text{CH}_2$ deformasi
1325.15	1316.95	1317.16	-	O-H deformasi
1238.51	-	-	-	C=C vibrasi cincin aromatik
-	1160.2	1160.57	-	C-O-C stretching
1026.82	1032.71	1032.75	1087.92	C-C stretching
895.8	-	896.33	-	C-H deformasi

Semakin banyak perlakuan pada *filler*, menyebabkan meningkatnya konsentrasi dan menghilangnya beberapa ikatan. Seperti pada proses alkalisasi, NaOH akan bereaksi dengan gugus hidroksil sehingga akan mengurangi ikatan hidrogen. Hal ini juga

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

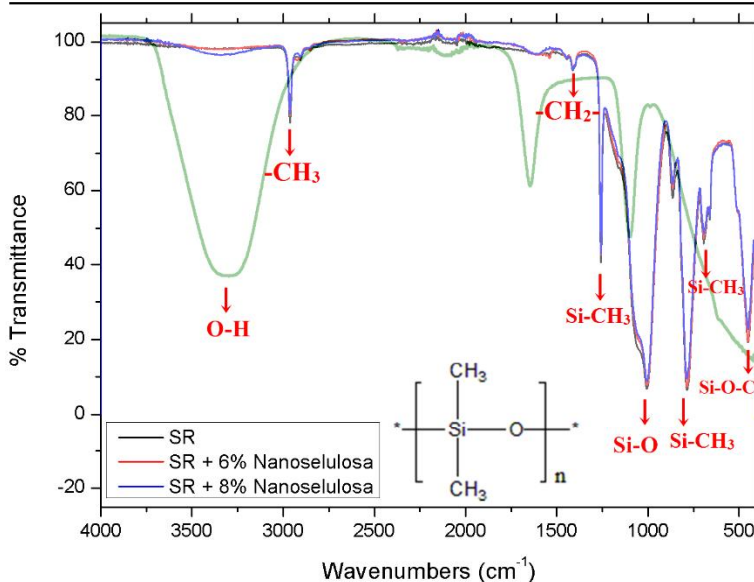


akan mengakibatkan meningkatnya konsentrasi  $-OH$  jika dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan (Lojewska, 2005). Pada proses alkalisasi dan *bleaching* menyebabkan hilangnya daerah serapan ikatan  $C=C$  yang menandakan adanya kandungan lignin seperti pada peak 1200-1300  $cm^{-1}$  (Abraham, 2011)

Pada proses hidrolisis, tidak menunjukkan adanya daerah serapan ikatan  $C=C$ , dan  $C-O-C$  yang mana juga terdapat pada lignin. Sedangkan pada peak sekitar 1420  $cm^{-1}$ , menunjukkan hilangnya ikatan  $CH_2$  yang mana ikatan tersebut telah berdeformasi dalam selulosa (Alves, 2014). Bertambahnya konsentrasi ikatan  $O-H$  dan tidak munculnya beberapa gugus fungsi pada tiap proses perlakuan dikarenakan terjadinya reaksi akibat penambahan zat-zat kimia seperti  $NaOH$ ,  $H_2O_2$ , dan juga  $H_2SO_4$ .

#### 4.6.2 Analisis FTIR pada Komposit

Dari hasil uji FTIR ini akan dianalisa komposit *Silicone Rubber* dengan *nanocellulose*. Gambar 4.9 menunjukkan hasil uji FTIR pada *Silicone Rubber* murni dan dua buah komposit, yaitu *Silicone Rubber* berpenguat *nanocellulose* dengan fraksi 6 dan 8% serta grafik FTIR *nanocellulose*. Grafik keduanya memiliki daerah serapan yang sama. Hal tersebut dapat mengindikasikan tidak terjadi reaksi antara *Silicone Rubber* dengan *nanocellulose* sehingga dapat menghasilkan komposit berpenguat *cellulose*.



**Gambar 4.9** Hasil Uji FTIR dari *Silicone Rubber Porous* dan *Silicone Rubber* dengan variasi *filler* 6% dan 8%

Dari Tabel 4.9, terdapat ikatan gugus siloksan Si-O pada puncak 3 gelombang 1006.13, 1004.58, 1006.52 cm<sup>-1</sup> serta senyawa silikon organik yang mengalami vibrasi dengan ikatan Si-CH<sub>3</sub> pada puncak gelombang sekitar 1258.02, 785.41 cm<sup>-1</sup> dan 694.34. Puncak 2800 - 3000 cm<sup>-1</sup> mengidentifikasi adanya gugus alifatik -CH<sub>3</sub>. Selain itu terdapat gugus vinil -CH<sub>2</sub>- yang mengalami deformasi vibrasi yang menandakan adanya *byproduct* dan gugus silikon organik Si-CH<sub>3</sub> yang mengalami vibrasi. Gugus ini secara berturut-turut terdapat pada puncak gelombang 1258.02, 785.41 dan 693.340 cm<sup>-1</sup>. Puncak 451.93 cm<sup>-1</sup> mengidentifikasi gugus silikon organik Si-O-C yang mengalami deformasi vibrasi. *Silicone rubber* dengan *two-part systems* memiliki jenis *crosslink* dengan rantai utama  $\sim\text{O-Si-OSi}(\text{CH}_3)_2\sim$  dan menghasilkan *byproduct* berupa alkohol (R'OH) (Andre, 2005)

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



**Tabel 4.9** Daerah Serapan Infra Merah Komposit SR berpenguat *nanocellulose*

Daerah Serapan ( $\text{cm}^{-1}$ )					
SR	SR/NS 6%	SR/NS 8%	Ikatan	Gugus Fungsi	Jenis Gugus Fungsi
1258.02	1257.97	1257.88	Si- CH <sub>3</sub>	Silikon organik	Vibrasi
1006.13	1004.58	1006.52	Si-O	Siloksan	Si-C stretching
785.41	785.33	786.95	Si- CH <sub>3</sub>	Silikon organik	Vibrasi
694.34	694.13	694,09	Si- CH <sub>3</sub>	Silikon organik	Vibrasi
451.93	451.53	451.59	Si-O- C	Silikon organik	Deformasi vibrasi





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil dan analisis data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan:

1. Fraksi berat nanoselulosa yang bertambah menyebabkan perubahan jumlah dan bentuk poros. Fraksi berat menyebabkan rata-rata nilai  $\alpha$  naik. Nilai  $\alpha$  tertinggi pada frekuensi 4000 Hz ada pada SR Berporos/Nano selulosa 6%, yaitu sebesar 0,4358.
2. Fraksi berat nanoselulosa yang bertambah menyebabkan penurunan stabilitas thermal pada komposit dikarenakan dekomposisi selulosa, lignin serta hemiselulosa yang membuat stabilitas thermal turun. Dalam stabilitas, SR Berporos/Nano selulosa 6% mempunyai stabilitas yang lebih baik.
3. Fraksi berat nanoselulosa yang bertambah menyebabkan penurunan konduktivitas termal pada komposit dikarenakan nanoselulosa dapat membuat poros lebih banyak dan konduktivitas termal dari serat itu sendiri sangatlah kecil. Dalam hal ini SR Berporos/Nano selulosa 8% merupakan insulasi yang paling baik.

#### **5.2 Saran**

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai material penyerap suara berporos.
2. Adanya penelitian lain mengenai sintesis nano selulosa dari serat natural lainnya
3. Menggunakan fraksi berat yang lebih besar untuk mengetahui pengaruh fraksi berat nanoselulosa.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

---

## DAFTAR PUSTAKA

- Abraham E., Deepa B., Pothan L.A., Jacob M., Thomas S., Cvelbar U., Anandjiwala R. 2011. "*Extraction of Nanocellulose Fibrils from Lignocellulosic Fibres: A Novel Approach*". Carbohydrate Polymers. Vol. 86. Hal. 1468-1475.
- Alves, Luis, Bruno Medronho, Filipe E. Antunes, Maria P. Fernández-García, João Ventura, João P. Araújo, Anabela Romano, Bjorn Lindman. 2015. "*Unusual Extraction and Characterization of Nanocrystalline Cellulose from Cellulose Derivatives*". Journal of Molecular Liquids. Vol. 210. Hal. 106-112.
- Anggorodi, R. 1994. *Ilmu Makanan Ternak*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Ardhyananta, Hosta, Deni Budi Utomo. 2014. *Studi Pengaruh Katalis Curing Benzoil Peroksida terhadap Kekuatan Tarik dan Stabilitas Termal Karet Silikon*. Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Beck-Candanedo, S., M. Roman, and D.G. Gray. 2005. "*Effect of Reaction Conditions on the Properties and Behavior of Wood Cellulose Nanocrystal Suspensions*". Biomacromolecules, 6 (2), 1048-1054.
- Callister Jr, William D, 2010. *Materials Science And Engineering An Introduction, 8th Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken
- Campbell, Flake C. 2003. *Manufacturing Processes for Advanced Composites*. UK: Elsevier.
- Chen Wen Shan, 2012. *Study of Flexible Polyurethane Foams Reinforced with Coir Fiber and Tyre Particles*. Malaysia : UTHM
- Choh, J.L. 2016. OPEFB fibers in composites. *BioResources* 11(1), 913-928.

- Chung, Deborah D.L. 2010. *Composite Materials*. Springer : London Dordrecht Heidelberg.
- Ciullo, Peter A. 1996. *Industrial Minerals and Their Uses "A Handbook and formulary"*. Noyes Publications.
- Colas, Andre. 2005. *Silicones: Preparasi, Properties and Performance*. USA : Dow Corning Cooperation, LifeSciences.
- Denny, Deftya. 2013. *Analisis Panas Pada Knalpot Berbasis Sponge Steel*. Fakultas Teknik Mesin. Universitas Negeri Semarang.
- Doelle, L. L. 1972. *Akustik Lingkungan*. Jakarta: Erlangga.
- Farid, M., A. Ainur. 2017. Studi Bahan Akustik Silicone Rubber Berpori Berpenguat Nano Selulosa Dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit. Tugas Akhir Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Farid, M., H. Ardhyana, V. M. Pratiwi, S. P Wulandari, 2015. *Correlation between Frequency and Sound Absorption Coefficient of Polymer Reinforced Natural Fibre*. *Advanced Material Research*. Vol. 1112, pp. 329-332.
- Farid, M., J. Dian. 2017. *Sintesis dan Karakterisasi Komposit Polyurethane Berpenguat Nanocellulose Dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Akustik*. Tugas Akhir Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Farid, M., T. Heryanto. 2013. *Correlation of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (NAC) and Random incidence Sound Absorption Coefficient (RAC) of Polyester/Ramie Fibre Composite Materials*. *Advanced Mateial Research* Vol. 789, pp.269-273
- Gay, D., Hoa, S.V., Tsai, S.W., 2003. *Composite Material: Design and Applications*, pen. CRC, Canada GNU Documentation. 2002. Engineering Acoustics. Free Software Foundation, Inc : USA
- Edoyanto, Ari. 2011. *Morfologi Penampang Kelapa Sawit*.
- Heath, L., Thielemans, W. 2010. *"Cellulose Nanowhisker Aerogels"*. *Green Chem*. Vol. 12. Hal. 1448.

- Holtzapple, M.T. 2003. *Hemicelluloses*. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. pp. 3060-3071. Academic Press.
- Howard dan Angus, 2009. *Acoustics and Psychoacoustics 4<sup>th</sup> Edition*. Burlington: Oxford.
- Ioelovich, M. 2012. "Study of Cellulose Interaction with Concentrated Solutions of Sulfuric Acid". ISRN Chemical Engineering. Vol. 2012. 7 Pages.
- Ivdre, A., et al. 2016. "Nanocellulose Reinforced Polyurethane Obtained From Hydroxylated Soybean Oil". Baltic Polymer Symposium 2015. IOP Publishing.
- Izani, M.A. Norul, M.T. Paridah, U.M.K. Anwar, M.Y. Mohd Nor, P.S. H. 2012. "Effects of Fibre Treatment on Morphology, Tensile and Thermogravimetric Analysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches Fibres". Composites Part B.
- Jebasinski, Rolf. 2000. "Absorption Mufflers In Exhaust System". Germany: J. Eberspacher GmbH & Co.
- Jinping Zhou, Lina Zhang. 2000. "Structure and Properties of Blend Membranes Prepared from Cellulose and Alginate in NaOH/Urea Aqueous Solution". Department of Chemistry, Wuhan University. China
- John, et al. 2012. *Effect of amphiphilic coupling agent on heat flow and dielectric properties of flax– polypropylene composites*. *Composites Part B: Engineering*.
- Jorge P. Arenas and Malcolm J. Crocker , 2010. *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials*. University Austral of Chile, Valdivia, Chile and, Auburn University, Auburn, Alabama, Sound and Vibration.
- J. Rout, M. Misra, S.S. Tripathy, S.K. Nayak, A.K. Mohanty. 2001. "The Influence of Fibre Treatment on The Performance of Coir-Polyester Composites". *Composites Science and Technology*. Vol. 61. Hal. 1303-1310.
- K. Yoshimuraa, K. Nakano, K. Okamoto, T. Miyake. 2012. "Mechanical And Electrical Properties in Porous Structure of Ketjenblack/Silicone–Rubber Composites". *Sensors and Actuators A*. Vol. 180. Hal. 55-62.

- Kalia, S. et al. 2013. *Nanofibrillated cellulose: surface modification and potential applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- Kalita, Ujjal, Abhijeet Pratap, Sushil Kumar. "Absorption Materials Used In Muffler A Review". International Journal of Mechanical and Industrial Technology. Vol. 2, Issue 2, Hal. 31-37, Bulan: Oktober 2014-Maret 2015.
- Khalil, Abdul H.P.S. 2012. "Oil Palm Biomass Fibres and Recent Advancement in Oil Palm Biomass Fibres Based Hybrid Biocomposites". Intech.
- Kismono, Bambang. 1990. *Mekanika Struktur Komposit*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada masyarakat.
- Lane, Barrit, et al. 2016. *Exfoliated Nanocomposites Based on Polyaniline and Tungsten Disulfide*. Intech
- Lehninger, Albert L., David L. Nelson, dan Michael M. Cox. 2000. *Lehninger Principles of Biochemistry*. New York: Worth Publishers.
- Lojewska, J., P. Miskowicz, T. Lojewski, L.M. Proniewicz. 2005. "Cellulose oxidative and hydrolytic degradation: In situ FTIR approach". Polymer Degradation and Stability, 88, Hal. 512-520.
- Mediastika, E Christina. 2009. *Material Akustik Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan*. Yogyakarta.
- Mondragon, G., S. Fernandes, A. Retegi, C. Pena, I. Algar, A. Eceiza, A. Arbelaiz. 2014. "A Common Strategy to Extracting Cellulose Nanoentities from Different Plants". Industrial Crops and Products. Vol. 55. Hal. 140-148.
- Monteiro, et al. 2012. *Thermogravimetric behavior of natural fibers reinforced polymer composites—An overview. Materials Science and Engineering*.
- Morton, Maurice. 1959. *Introduction to Rubber Technology*. New York : Reinhold Publishing Corporation.
- Nandanwar, Anand. 2017. *Influence of Density on Sound Absorption Coefficient of Fibre Board*. IPIRTI. India.

- Rahayu, Titiek. 2010. “Dampak Kebisingan Terhadap Munculnya Gangguan Kesehatan”. Edisi Januari : 59 – 65.
- Pamungkas, Sigit. 2012. *Analisis Penggunaan Knalpot Model Standar Terhadap Kinerja Mesin 4 Langkah 100cc dan 125cc*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- Pääkkö, M. et al. 2007. *Enzymatic Hydrolysis Combined with Mechanical Shearing and High-Pressure Homogenization for Nanoscale Cellulose Fibrils and Strong Gels*. *Biomacromolecules*. Vol. 8. Hal. 1934-1941.
- Peng, B., et al. 2011. “Chemistry and applications of nanocrystalline cellulose and its derivatives: A nanotechnology perspective”. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 89 (5), 1191- 1206.
- Pratama, Nanda. 2016. “Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Papan Partikel Tongkol Jagung. Universitas Negeri Padang : Padang.
- Purboyo, Guritno. et al. 2000. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit Volume 8 Nomor 3 Oktober 2000 : Butil Diastetoksi Stearat Dari Asam lemak Sawit Distilat Sebagai Bahan Plasticizer*. Medan : Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Saba, Naheed et al. 2016. “Fabrication of Epoxy Nanocomposites from oil Palm Nano Filler: Mechanical and Morphological Properties”. *BioResources*. Vo. 11, No. 3. Hal. 7721-7736.
- Shanmugarajah dkk, 2015. “Isolation of NanoCrystalline Cellulose (NCC) from Palm Oil Empty Fruit Bunch (EFB): Preliminary Result on FTIR and DLS Analysis”. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*. VOL. 45.
- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Svagan, A.J., Jensen, P., Berglund, L.A., Furó, I., and Dvinskikh, S.V. 2010. “Towards Tailored Hierarchical Structures in Starch-Based Cellulose Nanocomposites Prepared by Freeze Drying”. *J. Mater. Chem*. Vol. 20. Hal. 6646.



- Wirajaya, Ahmad. 2007. *Karakteristik Komposit Sandwich Serat Alami Sebagai Absorber Bunyi*. Tugas Akhir S1 ITB, Bandung.
- Youngeung-Lee. 2003. *The development of sound absorbing material using natural bamboo fiber*, Jurnal Universitas Doshisha, Jepang.
- Yusra, Ireana. 2014. *Exploration of a Chemo-Mechanical Technique for the Isolation of Nanofibrillated Cellulosic Fiber from Oil Palm Empty Fruit Bunch as a Reinforcing Agent in Composites Materials*. Polymers ISSN 2073-4360.
- Zhang, Haibing. 2016. *New Advances in Silicone-based Thermal Insulation*. Arlon Silicone Technologies.

## LAMPIRAN A

### PERHITUNGAN MASSA SPESIMEN

#### A. Massa Spesimen Absorpsi Suara

Massa Total = 200 gram

- Fraksi Massa 6%
  - Massa Serat =  $0,06 \times 200$  gram = 12 gram
  - Massa SR =  $(2/13) \times (200-12)$  gram = 28,95 gram
  - Massa Heksana =  $(3/13) \times (200-12)$  gram = 43,43 gram
  - Massa NaCl =  $(8/13) \times (200-12)$  gram = 115,65 gram
  - Massa Bluesil =  $0,02 \times 200$  gram = 4 gram
- Fraksi Massa 8%
  - Massa Serat =  $0,08 \times 200$  gram = 16 gram
  - Massa SR =  $(2/13) \times (200-16)$  gram = 28,3 gram
  - Massa Heksana =  $(3/13) \times (200-16)$  gram = 42,45 gram
  - Massa NaCl =  $(8/13) \times (200-16)$  gram = 113,25 gram
  - Massa Bluesil =  $0,02 \times 200$  gram = 4 gram

#### B. Massa Spesimen Uji Densitas, SEM, FTIR

Massa Total = 8 gram

- Fraksi Massa 6%
  - Massa Serat =  $0,06 \times 8$  gram = 0,48 gram
  - Massa SR =  $(2/13) \times (8-0,48)$  gram = 1,156 gram
  - Massa Heksana =  $(3/13) \times (8-0,48)$  gram = 1,735 gram
  - Massa NaCl =  $(8/13) \times (8-0,48)$  gram = 4,627 gram
  - Massa Bluesil =  $0,02 \times 8$  gram = 0,16 gram
- Fraksi Massa 8%
  - Massa Serat =  $0,08 \times 8$  gram = 0,64 gram
  - Massa SR =  $(2/13) \times (8-0,64)$  gram = 1,132 gram
  - Massa Heksana =  $(3/13) \times (8-0,64)$  gram = 1,698 gram
  - Massa NaCl =  $(8/13) \times (8-0,64)$  gram = 4,529 gram
  - Massa Bluesil =  $0,02 \times 8$  gram = 0,16 gram

### C. Massa Spesimen Uji Konduktivitas Termal

Massa Total = 40 gram

- Fraksi Massa 6%

Massa Serat =  $0,06 \times 40$  gram = 2,4 gram

Massa SR =  $(2/13) \times (40-2,4)$  gram = 5,78 gram

Massa Heksana =  $(3/13) \times (40-2,4)$  gram = 8,68 gram

Massa NaCl =  $(8/13) \times (40-2,4)$  gram = 23,13 gram

Massa Bluesil =  $0,02 \times 40$  gram = 0,8 gram

- Fraksi Massa 8%

Massa Serat =  $0,08 \times 40$  gram = 3,2 gram

Massa SR =  $(2/13) \times (40-3,2)$  gram = 5,66 gram


Massa Heksana =  $(3/13) \times (40-3,2)$  gram = 8,49 gram

Massa NaCl =  $(8/13) \times (40-3,2)$  gram = 22,65 gram

Massa Bluesil =  $0,02 \times 40$  gram = 0,8 gram

## LAMPIRAN B HASIL PENGUJIAN

### A. Silicone Rubber Berpori Murni



**LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA**  
Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAXB : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 166/PRO/VIBRASTIC/V/2017

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen Uji Alfa SIR Polos dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 25 Mei 2017 pukul 01.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

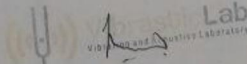
**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0.197
250	0.1731
500	0.3737
1000	0.3837
2000	0.3804
4000	0.4243

Kesimpulan

Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc  
NIP. 1960022918701 1 001

## B. SR. Berpori/Nano Selulosa 6%



### LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAX : 1201  
<http://www.vibratic.sp.its.ac.id>  
email : akoestische@gmail.com

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 164/PRO/VIBRATIC/V/2017

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

#### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen Uji Alfa SIR + 6% dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 25 Mei 2017 pukul 01.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0.1882
250	0.1894
500	0.3274
1000	0.3682
2000	0.4045
4000	0.4358

#### Kesimpulan


Pengujian alpha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc  
NIP. 1960022918701 1 001

### C. SR. Berpori/Nano Selulosa 8%



**LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA**  
Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp. (031) 5047188, 599425-4 Fax. 03-5923626 FAX : 1201  
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>  
email : [akoestische@gmail.com](mailto:akoestische@gmail.com)

Surabaya, 30 Mei 2017

No : 165/PRO/VIBRATIC/V/2017

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen Uji Alfa SIR + 8% dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 25 Mei 2017 pukul 01.00 WIB dengan ukuran diameter = 9.8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

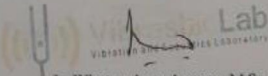
Frekuensi (Hz)	Alfa ( $\alpha$ )
125	0.1689
250	0.2754
500	0.3385
1000	0.3595
2000	0.3917
4000	0.4278

**Kesimpulan**

Pengujian aplha material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa spesimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi bunyi yang diterima maka spesimen semakin menyerap dan atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



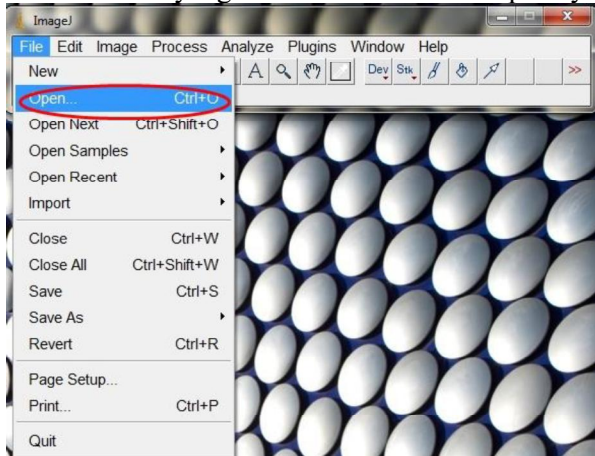
**Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc**  
NIP. 1960022918701 1 001

## LAMPIRAN C

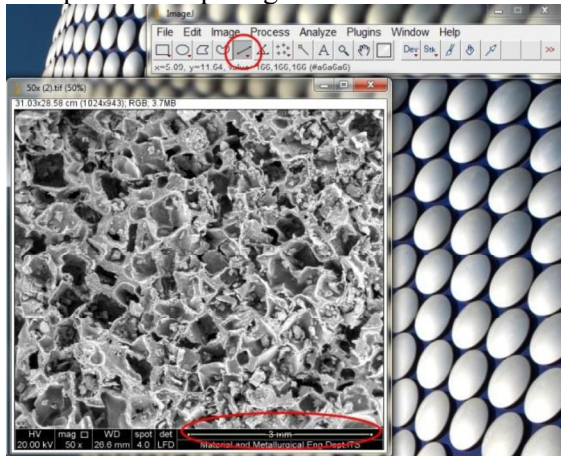
### ANALISIS POROS DENGAN *SOFTWARE IMAGEJ*

#### A. Tahapan Analisis Pori

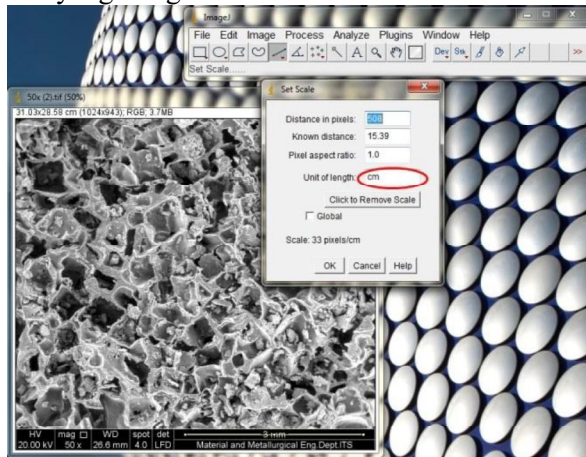
1. Membuka file yang akan dianalisis ukuran porinya



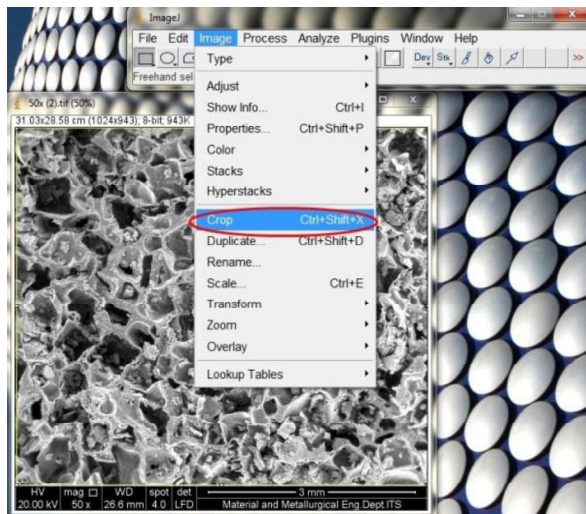
2. Atur penskalaan pada gambar



3. Memilih menu *analyze* kemudian *set scale* dan tentukan unit yang diinginkan

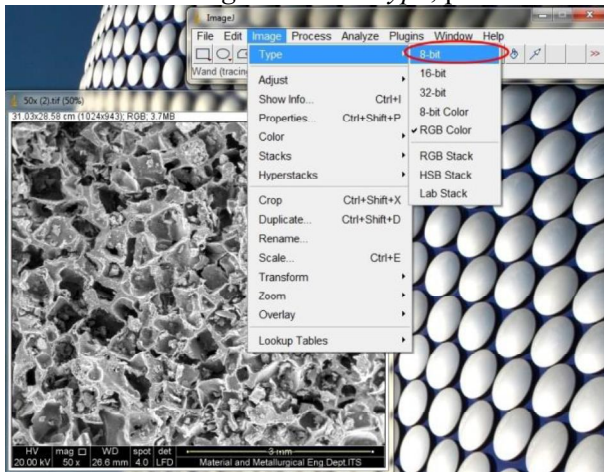


4. Melakukan *crop* gambar pada area berpori yang akan dianalisis

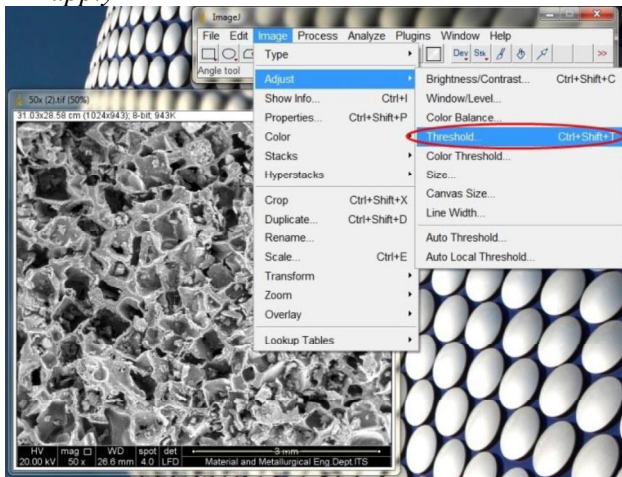




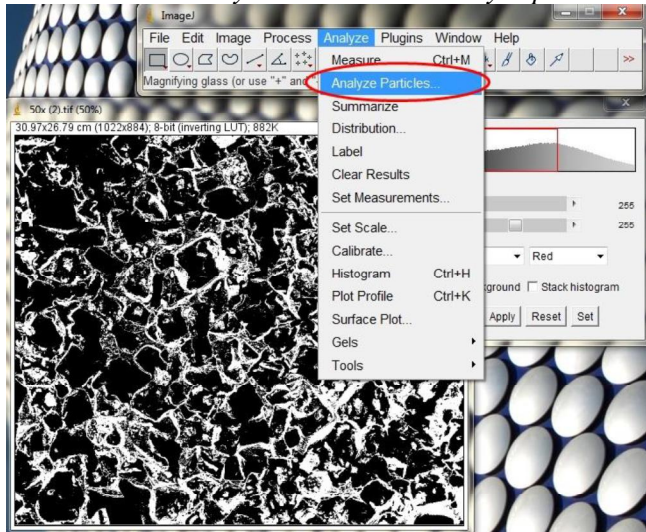
5. Mengubah gambar ke dalam resolusi 8 bit dengan cara memilih menu *image* kemudian *type*, pilih 8 bit



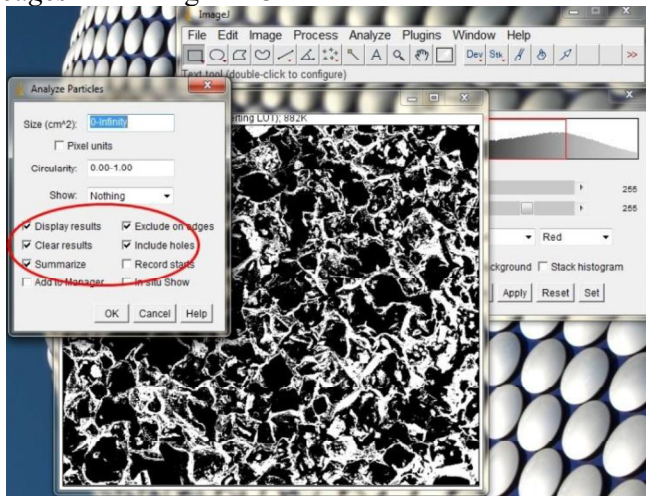
6. Untuk mengidentifikasi pori, edit gambar ke dalam *threshold* dengan memilih menu *image* kemudian *adjust* dan *apply*



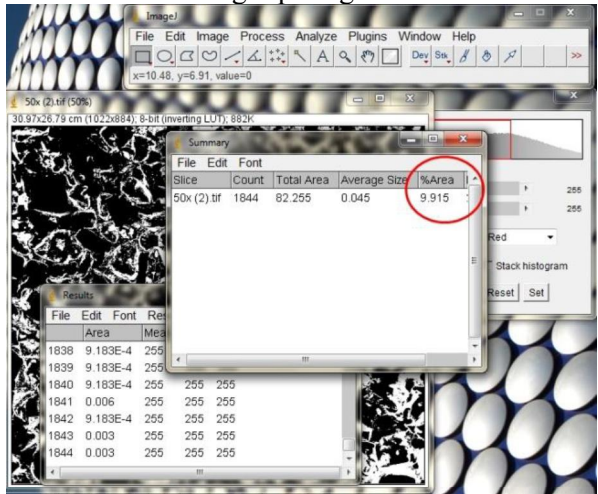
7. Memilih menu *analyze* lalu memilih *analyze particles*.



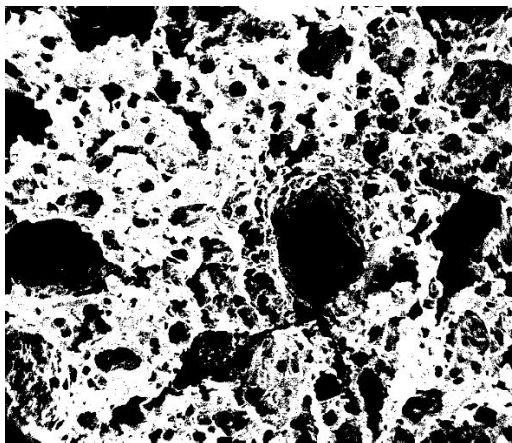
8. Memastikan *results*, *summarize*, *include holes* dan *exclude edges* tercentang lalu OK



9. Muncul kotak dialog seperti gambar di bawah

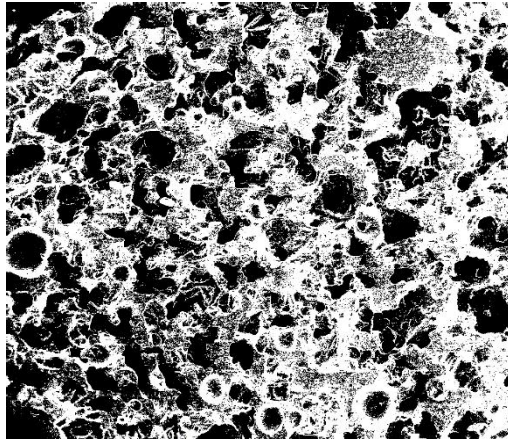


**B. Hasil Analisis pada Silicone Rubber Berpori Murni**



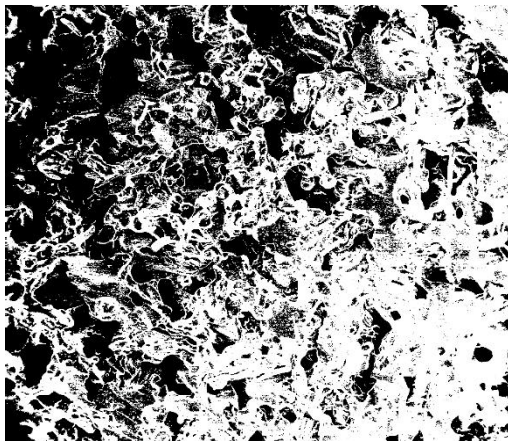
Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
50x.tif	4216	146.386	0.035	17.818	253.887

**C. Hasil Analisis pada Komposit Silicone Rubber Berpori/Nano Selulosa 6%**



Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
50x.tif	8570	225.087	0.026	27.366	253.613

**D. Hasil Analisis pada Komposit Silicone Rubber Berpori/Nano Selulosa 8%**



Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
50x.tif	5143	170.896	0.033	20.666	253.829

## **LAMPIRAN D**

### **PERHITUNGAN NILAI KONDUKTIVITAS TERMAL KOMPOSIT**

#### **A. EKSPERIMEN**

La = 2 mm

Lb = 4 mm

Lr = 30 mm (panjang tembaga)

k tembaga = 372.16 W/m°C (Tembaga)

Rumus :

$$\Delta T_R = (\Delta T_{1,2} + \Delta T_{2,3} + \Delta T_{3,4} + \Delta T_{7,8} + \Delta T_{8,9} + \Delta T_{9,10})/6$$

$$k'_a = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_a} \cdot \frac{L_a}{L_R} \cdot k_R$$

$$k'_b = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_b} \cdot \frac{L_b}{L_R} \cdot k_R$$

$$k = \frac{L_b \cdot L_a}{\frac{L_b}{K_b} \cdot \frac{L_a}{K_a}}$$



SAMPLE	TEMP(C)	NO	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T12	Ta	Tb	Tr	Ka	Kb	K	Krat2	Ktotal
SR	80	1	84	83	83	82	40	40	33	33	33	33	33	8.169	41.533	0.33333333	1.012591018	0.395392261	0.24566624		
		2	84	84	83	83	44	44	34	34	34	34	33	11.67	39	0.16666667	0.354356836	0.21205698	0.15103004	0.199034614	
		3	84	84	84	83	47	47	34	34	34	34	34	15.171	35.833	0.16666667	0.27256812	0.230799046	0.200131712		
	100	1	105	105	104	104	54	54	35	35	35	35	34	22.173	50	0.16666667	0.184939082	0.165404444	0.1486068		
		2	106	105	105	105	57	57	35	35	35	35	34	25.674	48	0.16666667	0.161062207	0.172296296	0.18515046	0.183215662	0.211704884
		3	106	105	105	105	59	59	36	36	36	36	35	28.841	46	0.16666667	0.154059503	0.17978744	0.21583126		
	120	1	126	125	125	124	60	60	36	36	36	36	35	28.008	63.833	0.33333333	0.295200713	0.259120587	0.23085085		
		2	126	126	125	124	61	61	36	36	36	36	35	29.175	62.833	0.33333333	0.283469485	0.263244544	0.245713418	0.252664578	
		3	126	126	125	124	63	63	36	36	36	36	35	31.509	60.833	0.33333333	0.26241745	0.271899207	0.28202913		
SR + 6% TKKS	80	1	85	85	84	84	43	43	36	36	36	36	35	8.169	41	0.16666667	0.506195509	0.20712737	0.25951421		
		2	85	85	84	84	46	46	36	36	36	36	35	11.67	38	0.16666667	0.354356836	0.217637427	0.157049416	0.156996204	
		3	85	85	84	84	48	48	36	36	36	36	35	14.004	36	0.16666667	0.295200713	0.229728395	0.187995777		
	100	1	106	106	105	105	53	53	36	36	36	36	35	19.839	52	0.16666667	0.208435445	0.15942735	0.128575328		
		2	106	106	105	105	55	55	37	37	37	36	35	21.006	50	0.33333333	0.395707618	0.330808889	0.28539092	0.194214234	0.20278715
		3	106	106	106	105	57	57	37	37	37	37	36	23.34	47.833	0.16666667	0.177168428	0.172897837	0.168828382		
	120	1	127	126	125	125	61	61	37	37	37	37	36	28.008	64	0.33333333	0.295200713	0.258444444	0.29779457		
		2	127	126	125	125	63	63	37	37	37	37	36	30.342	62	0.33333333	0.27256812	0.266783362	0.26126409	0.257149312	
		3	127	126	125	125	64	64	37	37	37	37	36	31.509	61	0.33333333	0.26241745	0.271154027	0.280432072		
SR + 8% TKKS	80	1	85	85	84	84	46	46	36	36	36	36	35	11.67	38	0.16666667	0.354356836	0.217637427	0.157049416		
		2	85	85	84	84	47	47	36	36	36	36	35	12.837	37	0.16666667	0.322134415	0.22351952	0.171134011	0.187456055	
		3	85	85	84	84	50	50	36	36	36	36	35	16.338	34	0.16666667	0.25097754	0.24324183	0.234124737		
	100	1	105	105	104	104	54	54	36	36	36	36	35	21.006	50	0.16666667	0.196853809	0.165404444	0.142619456		
		2	105	105	104	104	55	55	37	37	37	36	36	21.006	49	0.33333333	0.395707618	0.337560091	0.295283385	0.207295947	0.198908814
		3	106	106	105	105	58	58	37	37	37	37	36	24.507	47	0.16666667	0.168731836	0.175962175	0.183839911		
	120	1	126	125	124	124	64	64	37	37	37	37	36	31.509	60	0.33333333	0.26241745	0.275674074	0.290714902		
		2	126	126	125	125	65	65	37	37	37	37	36	33.676	60	0.16666667	0.176548877	0.157837037	0.151366229	0.201994439	
		3	126	126	125	125	66	66	37	37	37	37	36	33.843	59	0.16666667	0.122185123	0.140175358	0.16437187		

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Henry Julianto Tarigan, lahir di Bekasi pada tanggal 12 Juli 1995 dari ayah bernama Sehat Tarigan dan ibu bernama Winarni. Penulis adalah anak ketiga dari 3 bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Pamardi Yuwana Bhakti Bekasi, SMP Pamardi Yuwana Bhakti Bekasi, dan SMAK 7 BPK Penabur Jakarta. Penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Material dan Metalurgi melalui tes SBMPTN 2013 dan terdaftar dengan NRP.2713100090. Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan kepanitiaan di kampus antara lain sebagai Staff Divisi Olahraga BSO Minat Bakat HMMT FTI ITS 2014/2015. Kepala Divisi Olahraga BSO Minat Bakat HMMT FTI ITS 2015/2016. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktisi di PT. Elang Perdana pada divisi Laboratorium yang menangani formula pada komposit pada ban mobil. Sebagai tugas akhir, penulis mengambil topik mengenai material inovatif (komposit).